

Aus der Neurologischen Klinik der Universität Heidelberg

(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. W. Wick)

Abteilung für Neuroradiologie

(Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. M. Bendszus)

Neuronale Korrelate musikalisch-ästhetischer Erfahrung

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Doctor scientiarum humanarum

(Dr. sc. hum.)

an der Medizinischen Fakultät Heidelberg

der Ruprecht-Karls-Universität

vorgelegt von

Steffen-Michael Bücher

(Geburtsort: Mannheim)

2021

Dekan: Prof. Dr. med. Hans-Georg Kräusslich

Doktorvater: PD Dr. rer. nat. Peter Schneider

Meinen Eltern, die 1964 an gleicher Stelle promoviert wurden.

Inhalt

Abkürzungen	8
Abbildungen	10
Tabellen	11
1. Einleitung	13
1.1 Ästhetik	13
1.1.1 Begriffsdefinition	13
1.1.2 Historische Marken	15
1.2 Ästhetik im Kontext der Wissenschaften	28
1.2.1 Übersicht	28
1.2.2 Gustav Theodor Fechner: Experimentelle Ästhetik	28
1.3 Neuroästhetik	30
1.3.1 Historische Marken	30
1.3.2 Neuronale Korrelate ästhetischer Wahrnehmung	31
1.4 Präfrontaler Kortex	33
1.5 Kognitiv-affektives Modell der ästhetischen Erfahrung	37
1.6 Neuronale auditorische Verarbeitung	40
1.6.1 Neuronale Aspekte des Musizierens	40
1.6.2 Auditorischer Kortex	41
1.6.3 Zeitliche und räumliche auditorische Verarbeitung im Gehirn	42
1.6.4 Netzwerke auditorischer Verarbeitung	43
1.6.5 Strukturelle und funktionelle Plastizität der Hörverarbeitung	46
1.7 Fragestellung	47
1.8 Hypothesen	49
2. Material und Methoden	49
2.1 Untersuchungsdesign	49
2.2 Stichprobe	50
2.3 Untersuchungsmethoden	51
2.3.1 MEG-Messung	51
2.3.2 MRT-Messung	53
2.3.3 Hörakustische Messungen und Fragebogenerhebung	53
2.4 Statistische Analyse	54

3. Ergebnisse	55
3.1 Lokalisation der kortikalen ROIs mittels fMRT	55
3.2 Gruppenvalidität.....	56
3.3 Gruppenvergleiche.....	57
3.3.1 Hörakustische Messungen	58
3.3.2 Neurologische Messungen	60
3.4 Korrelationen	72
3.5 Aussagen zu den Hypothesen	78
3.6 Zusammenfassung	80
4. Diskussion	82
4.1 Ästhetisch-kognitive Verarbeitung auditorischer Wahrnehmung.....	83
4.2 Entwicklungsprozesse und Expertisen-Aufbau.....	83
4.2.1 Latenz	83
4.2.2 Synchronisation	84
4.2.3 Pubertät.....	85
4.3 Netzwerke ästhetisch-kognitiver Verarbeitung auditorischer Wahrnehmung	86
4.4 Interdisziplinarität	88
4.5 Schlussfolgerung	90
4.5.1 Kritische Reflexion.....	90
4.5.2 Ausblick.....	92
5. Zusammenfassung	93
Literaturverzeichnis	97
Anhang.....	105
Lebenslauf.....	134
Danksagung	135
Eidesstattliche Versicherung	137

Abkürzungen

A	anterior
(a)STG	(anteriorer) Superiorer temporaler Gyrus
AMMA	Advanced Measure of Music Audiation
AMseL	Audio-und Neuroplastizität des Musikalischen Lernens
Ant	anterior
BA	Brodmann-Areal
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
COR	Koronalebene
d.i.	das ist
d.Ü.	der Übersetzer
dB (SPL)	Dezibel (Sound Pressure Level)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
Diff.-Lat.	Differenz Latenz
DLPC	dorsolateraler Präfrontalkortex
dPMC	dorsaler prämotorischer Kortex
GW	Gadamer gesammelte Werke
HG	Heschl'sche Querwindungen (Gyri temporales transversi)
Hz	Hertz
IAMMA	altersabhängiger Score-Wert der IMMA beziehungsweise AMMA-Tests
I _{fg}	Gyrus frontalis inferior
IMMA	Intermediate Measures of Music Audiation
I _{MP}	kumulativen Musizierindex der musikalischen Praxis
L	links
Lat	Latenz
LGN	Corpus geniculatum laterale
MD	mediodorsal
MEG	Magnetoenzephalographie
M _{fg}	Gyrus frontalis medius
MGN	Corpus geniculatum mediale
(f)MRT	(funktionelle) Magnetresonanztomographie
Ms	Millisekunde
nAm	nanoAmpereMeter
OF	Orbitofrontalkortex
P	posterior
PB	Parabelt
PFC	Präfrontalkortex
PISA-Studie	Programme for International Student Assessment
Po(st)	posterior
PP	posteriorer Parietalkortex

PrCo	präzentral-agranuläres Feld
PT	Planum temporale
Pu	Pulvinar
R	rechts
ROI	Region of Interest
Sfg	Gyrus frontalis superior
SAG	Sagittalebene
SG/Li	suprageniculate-limitans
Sig	signifikant
SM(A)	supplementäres motorisches Feld
SN	Substantia nigra
SPL	Sound Pressure Level
STS	Sulcus temporalis superior
TP	Temporalpol
TRA	Traversalebene
VA	ventral anterior
VL	ventral lateral
VPL	ventral postero-lateral
vPMC	ventraler prämotorischer Kortex
VTA	ventral tegmentales Areal

Abbildungen

Abbildung 1	Aspekte der Wahrnehmung nach Aristoteles	16
Abbildung 2	Säulen des neuhumanistischen Bildungsideals	18
Abbildung 3	Geschmack als höchste Veredelung des sittlichen Urteils	19
Abbildung 4	Ästhetik und Logik als Erkenntnisquellen	20
Abbildung 5	Stofftrieb und Formtrieb	20
Abbildung 6	"Sittliches Wollen" und „sinnliches Verlangen“	21
Abbildung 7	Der Weg zur Erkenntnis von der sinnlichen Wahrnehmung zum (Vernunfts-)Urteil	22
Abbildung 8	Die Trias des Wahren, Schönen und Guten	23
Abbildung 9	Der Weg von der sinnlichen Wahrnehmung zur Geschmacksentscheidung	23
Abbildung 10	Balance von Stofftrieb und Formtrieb	24
Abbildung 11	Wege zu logischen, moralischen Urteilen und Geschmacksurteilen	25
Abbildung 12	Hauptaspekte der Begriffsbedeutung von „Ästhetik“	27
Abbildung 13	Ästhetikmodell nach Gustav Theodor Fechner	29
Abbildung 14	Prinzipien der experimentellen Ästhetik	29
Abbildung 15	Modell der ästhetischen Wahrnehmung	31
Abbildung 16	Physiologische Aspekte ästhetischer Wahrnehmung	33
Abbildung 17	Überblick über die Brodmann-Areale	34
Abbildung 18	Aktivierung des Neokortex in Abhängigkeit des steigenden Abstraktionsgrades	35
Abbildung 19	Dreistufiges Modell der hierarchischen Organisation der Funktionen des Präfrontalkortex	36
Abbildung 20	Projektionskaskade für die somaästhetische (a) und visuelle (b) Verarbeitung im Gehirn	38
Abbildung 21	Kognitiv-affektives Modell der ästhetischen Erfahrung	39
Abbildung 22	Hierarchische Verarbeitung im auditorischen Kortex	41
Abbildung 23	Kennzeichnung der Verarbeitungsareale im auditorischen Kortex	42
Abbildung 24	Auditorisch-evozierte Antwortmuster innerhalb der Subareale des auditorischen Kortex	43
Abbildung 25	Ventraler und dorsaler Pfad (What- und Where-Stream)	44
Abbildung 26	Auditorisch-motorisches Netzwerk	44
Abbildung 27	Heuristisches Schema des Informationsflusses für den „semantic processor“	45
Abbildung 28	Auditorisch evozierte Felder beim Hören von harmonisch komplexen Klängen	46
Abbildung 29	Neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell	47
Abbildung 30	Kennzeichnung der grauen Substanz des BA10-Areals als Region of Interest (ROI)	48
Abbildung 31	MEG-6-Dipol-Modell	48
Abbildung 32	Messung der fMRT-Aktivierung eines 9-jährigen viel musizierenden Jungen	55
Abbildung 33	Plots der Ergebnisse des AMMA/IMMA-Tests	58
Abbildung 34	Plots der I _{MP} -Daten	58
Abbildung 35	Auditorisch evozierte Felder beim Hören von harmonisch komplexen Klängen	60
Abbildung 36	Plots der Latenzen der P1-Antworten	61
Abbildung 37	Plots der Amplitudenstärke der P1-Antworten	63
Abbildung 38	Plots der Latenzen der anterioren P2-Antworten	65
Abbildung 39	Plots der Amplitudenstärke der anterioren P2-Antworten	66
Abbildung 40	Plots der Latenzen der Koaktivierung im BA10	68
Abbildung 41	Plots der Amplitudenstärke der BA10	69
Abbildung 42	Plots der Differenzwerte der Latenzen von der P1- und der BA10-Antworten	70
Abbildung 43	Korrelationen zwischen BA10-Latenz und AMMA/IMMA	74
Abbildung 44	Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I _{MP} kumulativ	75
Abbildung 45	Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I _{MP} aktuell	75
Abbildung 46	Korrelationen zwischen BA10-Latenz und P2 anterior-Amplitude	76
Abbildung 47	Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und P2 anterior-Amplitude	76
Abbildung 48	Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und AMMA/IMMA	77
Abbildung 49	Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I _{MP} kumulativ	77
Abbildung 50	Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I _{MP} aktuell	78
Abbildung 51	Plots der Latenzen der Koaktivierung im BA10	78

Tabellen

Tabelle 1	Begriffsbedeutung von aísthēsis und aisthánesthai bei Aristoteles.....	15
Tabelle 2	Beschreibung der Stichprobe.....	50
Tabelle 3	Resultate der Diskriminanzanalyse.....	57
Tabelle 4	Resultate der Gruppenvergleiche der hörakustischen Tests.....	59
Tabelle 5	Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Latenz.....	62
Tabelle 6	Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Amplitude.....	63
Tabelle 7	Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Amplitude.....	64
Tabelle 8	Resultate der Gruppenvergleiche der anterioren P2-Latenz.....	65
Tabelle 9	Resultate der Gruppenvergleiche der anterioren P2-Amplitude.....	67
Tabelle 10	Resultate der Gruppenvergleiche der BA10-Latenz.....	68
Tabelle 11	Resultate der Gruppenvergleiche der BA10-Amplitude.....	69
Tabelle 12	Resultate der Gruppenvergleiche der Latenzdifferenz von P1- und BA10-Antworten.....	71
Tabelle 13	Korrelationen der wichtigsten Variablen.....	72
Tabelle 14	Altersabhängige Korrelationen der wichtigsten neuronalen Variablen.....	72
Tabelle 15	Korrelationen zwischen den wichtigsten neuronalen Variablen und den hörakustischen Tests.....	73
Tabelle 16	Detektierte Korrelationen der BA10-Latenz mit den hörakustischen Tests.....	79
Tabelle 17	Detektierte Korrelationen der BA10-Latenz mit weiteren erhobenen neuronalen Antworten.....	79
Tabelle 18	Überblick über Reife- und Expertise-bedingten Variablen.....	81

1. Einleitung

Semir Zeki verwendet 1998 erstmals das Wort Neuroaesthetics (diese Schreibweise variiert mit der Schreibweise „Neuroesthetics“) (Hodges 2013, Keller 2013) und prägt hiermit einen Sammelbegriff für neurowissenschaftliche Forschungen über das ästhetische Empfinden des Menschen. Seither sind viele wissenschaftliche Arbeiten in diesem Kontext entstanden. Leider ist – nach Meinung des Verfassers dieser Arbeit – vielen beeindruckenden Publikationen keine hinreichende Begriffsdeutung des Ästhetikbegriffs vorangestellt. Der experimentell notwendigen Reduktion (Chatterjee 2011) geht oftmals nur ein Ausschnitt der Begriffsbedeutung ohne weiterführenden Hinweis voraus. In vielen Fällen lässt sich hieraus ableiten, dass es sich bei Ästhetik einzig um ein bewusstes oder unbewusstes Geschmacksurteil handelt. Dies ist jedoch nicht der Fall!

Die vorliegende Arbeit steht im Kontext der neuroästhetischen Forschungen. Auch hier muss ein reduktionistischer Ansatz hinsichtlich des experimentellen Hauptteils gewählt werden. Die Einordnung dieses Bausteins in das komplexe Ästhetik-Konstrukt soll jedoch an mehreren Stellen thematisiert werden.

Um der Wurzel der Forschungen – dem Phänomen der Ästhetik – Rechnung zu tragen, steht zu Beginn dieser Arbeit eine intensive Auseinandersetzung mit der Bedeutung des Begriffs.

1.1 Ästhetik

1.1.1 Begriffsdefinition

Sowohl zeitgeschichtlich als auch in seiner Bedeutungsvielfalt ist der Begriff Ästhetik äußerst umfassend. Relevant und thematisiert sind in dieser Arbeit der neurowissenschaftliche, der philosophische, der kognitionspsychologische, der bildungswissenschaftliche und der bildungspolitische Hintergrund dieses Begriffs.

Als erste Annäherung wird der Bedeutungsgehalt von Ästhetik durch drei Beschreibungen umrissen:

1. Etymologisch hat das Wort Ästhetik im Alt-Griechischen seinen Ursprung.

Das altgriechische Substantiv αἴσθησις (aísthēsis) findet seine Entsprechung in den deutschen Begriffen Sinn, Sinneswahrnehmung oder Sinneswerkzeug (Gemoll und Vretska 2004, S.20). Im Lateinischen entspricht ihm am ehesten das Wort *sensus*.

Das hierzu gehörende Verb αἰσθάνεσθαι (aisthánesthai) bedeutet so viel wie „durch Sinne wahrnehmen“.

Für den weiteren Verlauf der Arbeit wird an dieser Stelle der bedeutende Unterschied zwischen dem eher im Kontext der Sinneswahrnehmung stehenden Wort *aísthēsis* und dem Wort νοῦς (*nous*) mit der deutschen Entsprechung Sinn, geistige Wahrnehmung, Verstand und „Vermögen des Wollens“ (Gemoll und Vretska 2004, S.524) aufgezeigt.

2. Im Duden wird als Synonym des Begriffs das deutsche Wort „Geschmack“ ausgewiesen. Des Weiteren werden hier Bedeutungskontexte zur Schönheit, als „das Schöne“, als die „Wissenschaft vom Schönen“ beziehungsweise als der „Schönheitssinn“ hergestellt (Dudenredaktion ohne Jahr).

3. Im pädagogischen Kontext findet man folgende Zuordnung:

„Rezeption (aísthēsis), Produktion (poesis) und Kommunikation (katharsis) gelten als zentrale Dimensionen einer ästhetisch motivierten Erziehung, die zur kritischen Urteilsbildung befähigen soll [...]“ (Schläbitz 2012, S.704)

„Mit dem in der ästhetischen Erziehung vollzogenen Wechsel der Perspektive vom kognitiv zu erschließenden Kunstobjekt zur Wahrnehmungsperspektive des Subjekts, das eine erkenntnisträchtige Konstruktionsarbeit vollbringt, ist der Weg zu einem Weltzugang bestritten, der in einer vernetzten Welt (global village) einer unüberschaubaren Vielfalt und Fremden leichter begegnen lässt [...]. Anstatt vom Kunstwerk auszugehen und immer schon zu wissen, was Wert hat (Monument), kann es über eine ästhetische Erziehung mit Stärkung des eigenen Wahrnehmungspotentials gelingen, Offenheit zu zeigen.“ (Schläbitz 2012, S.703)

Anhand der drei Beschreibungen lässt sich eine anscheinend zusammenhangslose, heterogene Bedeutungsvielfalt von Sinneswahrnehmung über subjektiv-geschmackliche Bewertung bis hin zu einem Reflexionsvermögen, welches uns in der heutigen pluralistischen Welt Orientierung gibt, ableiten.

Die komplexe Bedeutung des Begriffs Ästhetik wird durch das Wahrnehmen seiner philosophischen Wurzeln im Kontext gesellschaftlicher Systeme von über 2300 Jahren verständlich. Im Folgenden soll die Begriffsbedeutung weniger in ihrer chronologischen Entwicklung als durch kontextuell wichtige philosophische und gesellschaftliche Erkenntnisse dargestellt werden, die einen Zusammenhang der Bedeutungsvielfalt plausibel machen.

Methodisch greift die folgende Analyse selbstverständlich auf die ursprünglichen Quellen der philosophischen Hauptwerke zurück; angesichts der Interpretation von mehr als 2000 Jahren wissenschaftlicher Diskussion zum Ästhetik-Konstrukt wird jedoch an vielen Stellen auf Sekundärquellen anerkannter Experten zurückgegriffen. Dies ist im Text entsprechend kenntlich gemacht. Zur geschichtlichen Einordnung wird im Folgenden auf Übersichtswerke verwiesen.

1.1.2 Historische Marken

1.1.2.1 Aísthēsis in Aristoteles' Περὶ ψυχῆς (Perí psychês) – De anima

Aristoteles diskutiert im fünften Kapitel des zweiten Buchs seines Werkes „Περὶ ψυχῆς“ Phänomene der Wahrnehmung und zeigt in diesem Kontext unterschiedliche Ebenen der Wahrnehmung – deren „Möglichkeit“ als solche beziehungsweise deren „Verwirklichung“ – auf:

„Es ist nun klar, dass das Wahrnehmungsvermögen nicht der Wirklichkeit nach, sondern nur der Möglichkeit nach besteht, weshalb es auch nicht wahrnimmt, so wie das Brennbare an sich noch nicht brennt, ohne dass es entzündet wird. Denn es würde ja selbst verbrennen und bedürfte nicht des Feuers in seiner vollendeten Wirklichkeit. Da wir Wahrnehmen in einem doppelten Sinne verstehen (denn wir sprechen von Hören und Sehen sowohl, wenn es nur der Möglichkeit nach vorhanden ist, also dann, wenn man gerade schläft, als auch, wenn es sich tatsächlich verwirklicht), so könnte auch die Wahrnehmung in einem doppelten Sinne verstanden werden, nämlich einerseits als Möglichkeit und andererseits als Verwirklichung.“ (Aristoteles; Krapinger 2011, S.85)

Obwohl Thomas Buchheim zwar keine stabile Unterscheidung in Aristoteles' Gebrauch von aísthēsis und aisthánesthai sieht, erkennt er hierzu dennoch Tendenzen (Buchheim 2015):

So benutzt Aristoteles das Verb aisthánesthai niemals pauschal auf den Sinn bezogen, sondern nur dann, wenn die Wahrnehmung eines konkreten, spezifischen Objekts gemeint ist. Aísthēsis hingegen hat eine größere Anwendungsbreite und bedeutet bei Aristoteles sowohl (Wahrnehmungs-)Sinn, als auch eine einzelne Wahrnehmung.

Tabelle 1 | Schematisierte Gegenüberstellung der Begriffsbedeutung von aísthēsis und aisthánesthai bei Aristoteles nach Thomas Buchheim.

Aísthēsis	Aisthánesthai
Möglichkeit	Verwirklichung
Disposition, kausale Basis	Bereitschaft
Kann er oder sie hören/ sehen/ riechen...?	Hört, sieht, riecht... er oder sie aktuell?

Mit Blick auf die Entwicklung des thematischen Rahmens dieser Arbeit wird auf zwei weitere Beobachtungen von Aristoteles zu aísthēsis in Περὶ ψυχῆς hingewiesen:

- Aristoteles bespricht neben dem eben diskutierten Vermögen „Wahrnehmung“ auch die Vermögen „Denken“ und „Streben“ (Hahmann 2017, S.90). Das Streben äußert sich unter anderem in Lust und Unlust beziehungsweise der Empfindung von Angenehmem und Unangenehmem. Derartige Bewertung geschieht in enger Abhängigkeit von der Wahrnehmung (Hahmann 2017, S.90). Buchheim weist in diesem Zusammenhang auf eine weitere von Aristoteles verwendete Form zum Wortstamm hin: αἰσθητικόν (aisthetikón) (Buchheim 2015). Er übersetzt dies als die „Lust an der Wahrnehmung“ (Aristoteles, Schwarz 2013, 1,1,980 21-24; Hahmann 2017, S.209).
- Im zweiten Kapitel des dritten Buchs nimmt Aristoteles einen übergeordneten Sinn, einen Gemeinsinn (κοινὴ αἴσθησις (koinê aisthēsis), lateinisch sensus

communis) (Kirchner 1911, S.905) an, der Sinneswahrnehmungen unterschiedlicher Sinne voneinander unterscheidet:

„Jede Sinneswahrnehmung also bezieht sich auf ein zugrundeliegendes Wahrnehmungsobjekt; sie findet im Sinnesorgan [...] statt und beurteilt die Unterschiede des zugrundeliegenden Sinnesobjekts, wie das Sehen Weiß und Schwarz oder das Schmecken Süß und Bitter; ebenso verhält es sich auch bei den anderen Wahrnehmungen. Da wir aber auch das Weiße und Süße und alle anderen Wahrnehmungen voneinander unterscheiden, wodurch nehmen wir also wahr, dass sie sich unterscheiden? Auf jeden Fall doch mit Wahrnehmung, denn auch das ist ja etwas Wahrnehmbares. [...] Man kann [...] mit voneinander getrennten Sinnen nicht beurteilen, dass das Süße etwas anderes ist als das Weiße, sondern beides muss für einen einzigen Sinn erkennbar sein; [...] es muss also eine einheitliche Instanz die Aussage treffen, dass sie verschieden sind.“

(Aristoteles; Krapinger 2011, S.135-137)

Sinneswahrnehmung ist in Aristoteles' Betrachtungen kein singulärer Prozess, sondern (um dies in den neurologischen Kontext des Hauptteils der vorliegenden Arbeit zu setzen) die Arbeit eines Netzwerkes. Aristoteles beschreibt eine Kausalitätsbeziehung innerhalb der Begriffe *aisthánesthai* und *aísthēsis*, welche im Satz „Nihil est intellectu, quod non prius in sensu“ (Nichts ist im Verstand, was nicht zuvor in der Sinneswahrnehmung war) subsumiert sein könnte. Dieses Zitat wird in einigen Quellen Thomas von Aquin (Regenbogen 2013, S.357) in anderen John Locke (Kirchner 1911, S.904, Störig 1950, S.389) zugeschrieben.

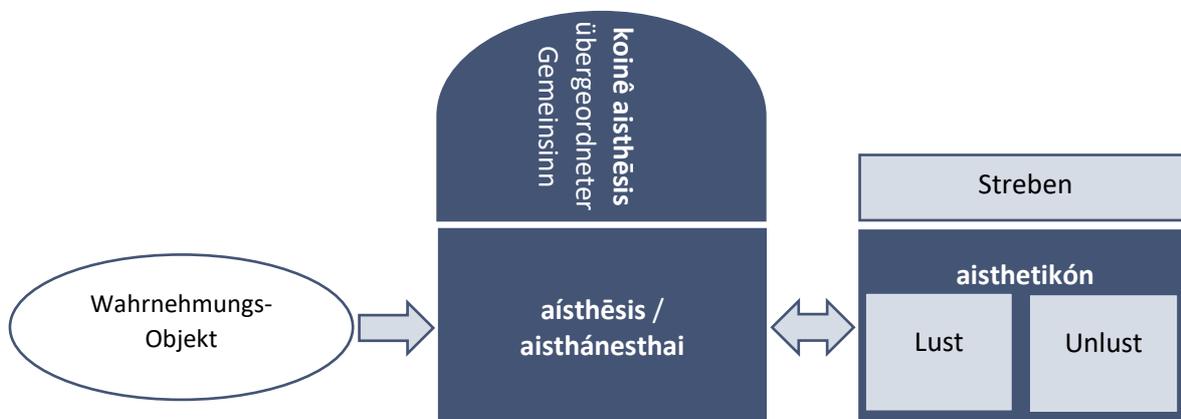


Abbildung 1 | Aspekte der Wahrnehmung nach Aristoteles

1.1.2.2 Neuhumanistisches Bildungsideal

Humanismus

Um eine weitere Klärung der Dimensionen des Ästhetik-Begriffs zu erhalten, schließt an die Auseinandersetzung mit der etymologischen Wurzel und Aristoteles' Περὶ ψυχῆς an dieser Stelle ein zeitlich weiter Sprung zum Beginn des Humanismus im 15./16. Jahrhundert und in die Renaissancezeit an; einer Zeit, die unter anderem von Wissenschaftlern wie Johannes Kepler und Galileo Galilei geprägt war.

Im Verbund der Wissenschaften eroberten sich die Naturwissenschaften und quantitative, mathematische und mechanische Beweisführungen eine dominierende Position (Sola et al. 2016). Führende Methodik der Wissenschaft war fortan nicht mehr das Beobachten eines Vorgangs, sondern das Beschreiben dessen exakten Verlaufs mittels Berechnungen nach Sammeln hinreichender Datenmengen (Störig 1950, S.279, Ehrenforth 2005, S.79).

Von Kepler stammen die berühmten Sätze: „Der menschliche Geist durchschaut quantitative Verhältnisse am klarsten; er ist recht eigentlich geschaffen, diese aufzufassen“ und „Ubi materia, ibi geometria“ (Störig 1950, S.282).

Der Forschungsmethodik der empirischen Wissenschaften warf die Humanismus-Bewegung vor, dass das Suchen nach Beweisen für zuvor aufgestellte Hypothesen zu enggeführt sei und keine Offenheit, keinen Spielraum für Überraschendes zulasse (Lemmermöhle und Hasselhorn 2007, S.75).

Die humanistische Bildung hatte den Menschen als selbstbestimmtes, individuelles und soziales Wesen im Blick und so wandelte sich auch der Bildungsbegriff durch diese Fokussierung.

Meister Eckhard hatte das Wort „Bildung“ im Mittelalter in die deutsche Sprache eingeführt (Sola et al. 2016). Originär bezeichnet dieser Begriff im christlich geprägten Mittelalter zunächst, sich „ein Bild Gottes zu machen“ (Lemmermöhle und Hasselhorn 2007, S.66), da Gott in der Schöpfungsgeschichte den Menschen nach „seinem Bilde“ geschaffen hat.

Neuhumanismus

In der aufkommenden Säkularisierung und Individualisierung der Neuzeit macht sich der Mensch im 18./19. Jahrhundert nicht mehr nur ein Bild von Gott, sondern im Besonderen von sich selbst und der Welt, die ihn umgibt (Goethe 1796, Ehrenforth 2005, S.319).

In Abgrenzung zum Primat der empirischen Forschung und der theologischen Fokussierung steht als Ziel einer neuhumanistischen Bildung nicht „Können“ und „Tun“, sondern „Verstehen“ und „Sein“ (Kerkhecker 2011, S.12) sowie „Bewahrung“ und „Fortbildung“ (Kerkhecker 2011, S.20).

Auch die Leitbilder der Gesellschaft und somit die Bildungsideale ändern sich: „Gottseligkeit“ wandelt sich zu „Glückseligkeit“, „Offenbarungswahrheit“ zu „Vernunftswahrheit“ und „Bekenntnis“ zu „Toleranz“ (Ehrenforth 2005, S.279).

Hans-Georg Gadamer stellt das neuhumanistische Bildungsideal mit den Begriffen Wissen, Sensus communis, Urteilskraft und Geschmack und deren logischer Verknüpfung dar (Gadamer 1960, S.15ff.; Kerkhecker 2011, S.11).



Abbildung 2 | Säulen des neuhumanistischen Bildungsideals
nach Hans-Georg Gadamer (Gadamer 1960, S.15 ff.; Kerkhecker 2011, S.10-21)

Bildung ist im neuhumanistischen Verständnis nicht nur das Anhäufen von Wissen, sondern auch dessen Auswahl und Anwendung. Das Ideal der individuellen Freiheit eines neuhumanistischen Menschenbildes zeigt sich durch diese Wahlmöglichkeit in den Grenzen sittlich-moralischen Handelns ebenso wie durch das bewusste Anwenden des Wissens nach dem griechischen Ideal der Phronesis¹, wofür es dem humanistisch-gebildeten Menschen an Takt beziehungsweise Sensus communis bedarf.

Entsprechung für den Begriff Sensus communis findet Gadamer im englischen „common sense“ in der Tradition der Moralphilosophie Shaftesburys und im französischen „bon sens“ (Gadamer 1960, S.31), nicht aber in der deutschen Übersetzung „gesunder Menschenverstand“, weil hierin das Implizieren der ethisch-moralischen Verantwortung für die Gesellschaft nicht ausdrücklich vorhanden ist (Gadamer 1960, S.31; Ehrenforth 2005, S.319; Kerkhecker 2011, S.18).

In Takt, Sensus communis (und hier in einem anderen Sinne als Aristoteles' Allgemeinsinn (siehe oben)), Urteilskraft und Geschmack sieht Gadamer jeweils eine Möglichkeit, der Besonderheit des Einzelnen in Verbindung zum Allgemeinen Rechnung zu tragen (Gadamer 1960, S.24ff.; Kerkhecker 2011, S.17-21).

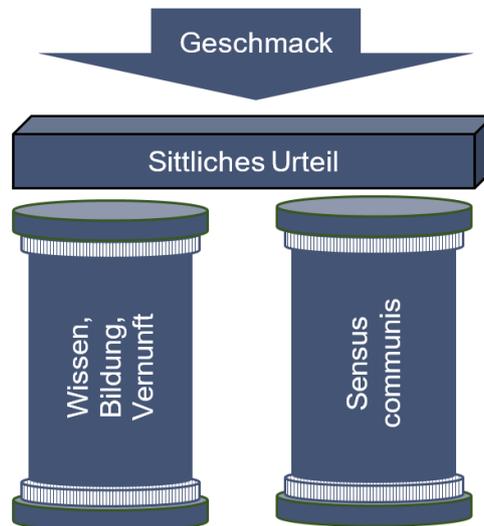
Durch das Zusammenwirken von Sensus communis, Urteilskraft und Geschmack ist der gebildete Mensch befähigt, das Einzelne im Verhältnis zum Ganzen zu betrachten; Bildung und Sensus communis helfen hierbei den Bezug zum Allgemeinen zu finden, Sensus communis und Geschmack tragen dazu bei, einer einzelnen Situation auch wirklich gerecht zu werden und die Sicht auf das Allgemeine zu weiten:

„Immer wird auch unser Wissen um Recht und Sitte vom Einzelfall her ergänzt, ja geradezu produktiv bestimmt. [...] Wie das Recht so bildet sich auch die Sitte ständig fort, kraft der Produktivität des Einzelfalls“. (Gadamer 1960, S.44)

¹ An dieser Stelle sei auf die Abgrenzung von Phronesis von Poiesis und Techne in der Nikomachischen Ethik von Aristoteles hingewiesen.

Gadamer sieht in der neuhumanistischen Tradition den Geschmack nicht als das Vordringlichste im Prozess einer Urteilsfindung, stellt aber den Geschmack als feinjustierendes, individuelles Instrumentarium gleichrangig neben Parameter wie Vernunft und Wissen:

„So ist Geschmack zwar gewiss nicht die Grundlage, wohl aber die höchste Veredelung des sittlichen Urteils“. (Gadamer 1960, S.45)



nach Hans-Georg Gadamer (Gadamer 1960, S.44-45; Kerkhecker 2011, S.10-21)

Abbildung 3 | Geschmack als höchste Veredelung des sittlichen Urteils

1.1.2.3 Erkenntnistheorien bei Kant und Schiller

Immanuel Kant gilt als der bedeutendste Philosoph des Abendlandes. Mit seiner Trilogie „Kritik der reinen Vernunft“ (1787a/b), „Kritik der praktischen Vernunft“ (1788) und „Kritik der Urteilskraft“ (1790b) wirkt Kant mit seiner systematischen Analyse des Denkens und Handelns sowie des Metaphysischen seitdem auf das philosophische Denken.

Er selbst wurde in seiner philosophischen Ausbildung durch den Rationalismus geprägt, dessen Credo lautete, dass das durch die Vernunft Erschlossene wahr sei (Störig 1950, S.389). Zudem wurde er durch den englischen Empirismus von David Hume und John Locke (Störig 1950, S.389), der in der oben erwähnten Aristotelischen Tradition des „Nihil est intellectu, quod non prius in sensu“ stand, beeinflusst. Kant selbst durchlebte innerhalb seines philosophischen Denkens einen Wandel, welcher allgemein hin als „kopernikanische Wende“ bezeichnet wird. In deren Folge steht der Verstand im Zentrum der Erkenntnis, das heißt es gibt nicht „das Ding an sich“ (von Kant auch Noumenon genannt), sondern nur eine Konstruktion der Dinge im Verstand (Störig 1950, S.428).

In der „Kritik der reinen Vernunft“ (Kant 1787a/b) grenzt Kant die „transzendente Ästhetik“ (das Vermögen der Sinnlichkeit) gegenüber der „transzendentalen Logik“ ab (Störig 1950, S.395).

Geprägt vom englischen Empirismus ist für Kant das Zusammenwirken von sinnlicher Wahrnehmung und dem Vermögen des Verstandes für das Gewinnen von Erkenntnissen unabdingbar. Diesen Standpunkt vertritt Kant mit der Formel:

„Gedanken ohne Inhalte sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind.“

(Kant 1787a, S.75, 14/15)

Das Zusammenspiel von Sinnlichkeit und Verstand sieht Kant jedoch nicht als ein gleichberechtigtes Miteinander von „Erkenntnisquellen“, sondern als hierarchischen Prozess, der von der unteren Stufe des Erkenntnisvermögens, der Sinnlichkeit zur höheren Stufe – dem Verstand – geführt werden muss, um erkenntniswirksam zu sein.

Der Sinn – von Kant auch die Einbildungskraft genannt – lockt Empfindungen, die im Verstand durch Abgleich mit anderen Empfindungen abstrahiert und kategorisiert werden, das heißt es werden übergeordnete Begriffe gefunden für eine Gruppe von Phänomenen, denen eine ähnliche Zweckmäßigkeit zugeschrieben wird.

Die sinnliche Empfindung ist somit für Kant eine Erkenntnis unterer, der Verstand eine Erkenntnis höherer Ordnung (Störig 1950, S.396).

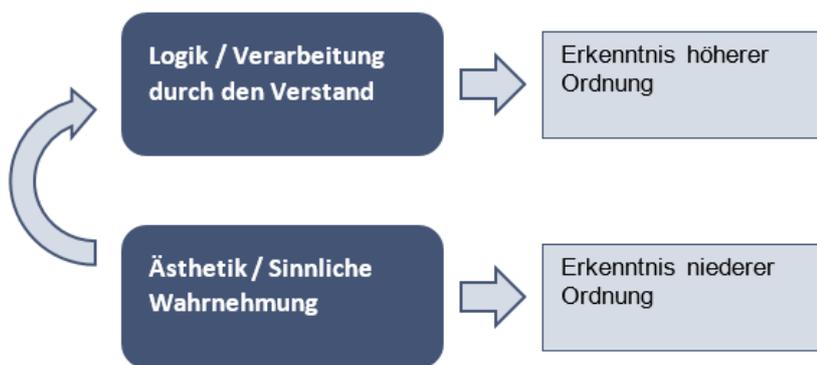


Abbildung 4 | Ästhetik und Logik als Erkenntnisquellen

Die Sinnlichkeit ist nach Immanuel Kant eine untere Stufe der Wahrnehmung, die zur höheren Stufe des Verstandes geführt werden muss (Kant 1787a/b).

In der Nachfolge von Kant setzt Friedrich Schiller in seinen Briefen „Über die ästhetische Erziehung des Menschen“ (Schiller 1795a/b/c/d) das menschliche Sein aus einem physischen sowie einem geistig, seelisch und moralischen Momentum zusammen. Die sinnliche Empfindung, aber auch das Individuelle, bezeichnet Schiller als Stofftrieb, der sich von dem Formtrieb, dem menschlichen Streben nach Erkenntnis unterscheidet.



Abbildung 5 | Stofftrieb und Formtrieb

nach Friedrich Schillers Briefen „Über die ästhetische Erziehung des Menschen“ (1795a/b/c/d)

Wie Kant beschreibt auch Schiller die zwingende Notwendigkeit der Präsenz beider Triebe, ordnet jedoch im Gegensatz zu Kant keinen Trieb dem anderen unter:

„In dem ersten Fall wird er nie Er selbst, in dem zweyten wird er nie etwas Anderes seyn; mithin eben darum in beyden Fällen keines von beyden folglich – Null seyn.“
(Schiller 1795a, S.52)

Kant stellt in seinem zweiten großen Werk, der „Kritik der praktischen Vernunft“ (Kant 1788) das Wollen und die freie Entscheidung des Menschen in den Fokus seiner Betrachtung.

Wie das Erkenntnisvermögen beschreibt er auch die Willensfreiheit des Menschen als hierarchisch zweistufig; als das sinnliche Verlangen zum einen und das sittliche Wollen als übergeordnete Instanz (Kern 2000, S.26).



Abbildung 6 | „Sittliches Wollen“ und „sinnliches Verlangen“ in Immanuel Kants Kritik der praktischen Vernunft (1788)

Korrektiv einer freien Entscheidung ist das sittliche Wollen, über das nach Kant zwar jeder Mensch verfügt, gegen das er sich jedoch entscheiden kann (Kern 2000, S.26 ff.). Das sittliche Wollen positioniert Kant im Gegensatz zur bisherigen philosophischen Tradition jedoch nicht außerhalb des Menschen, sondern in den Menschen hinein; moralisch-sittliche Vernunft bildet sich aus Erkenntnis.

Diese dem Menschen innewohnende Moralvorstellung beschreibt Kant nicht als konkreten Moralcodex, sondern als die Fähigkeit zwischen „gut“ und „böse“ zu unterscheiden:

„Es ist überall nichts in der Welt, ja überhaupt auch außerhalb derselben zu denken möglich, was ohne Einschränkung für gut könnte gehalten werden, als allein ein guter Wille.“ (Kant 1785, S.393, 5-7)

Diese den Menschen innewohnende Moralvorstellung, die mitunter dem Bedürfnis nach Triebbefriedigung standhält, ist, so Kant, das entscheidende Merkmal des Menschen, welches ihn vom Tier unterscheidet:

„Zwei Dinge erfüllen das Gemüt mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: der bestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir. [...] Der zweite erhebt [...] meinen Wert, als einer Intelligenz, unendlich durch meine Persönlichkeit, in welcher das moralische Gesetz mir ein von der Tierheit und selbst von der ganzen Sinnenwelt unabhängiges Leben offenbart.“ (Kant 1790a, S.161.33-36)

Eine weitere Stufe in der Hierarchie der Erkenntnis erreicht der Mensch durch seine Urteilskraft. Bereits in der „Kritik der reinen Vernunft“ (1787 a/b) und in der „Kritik der

praktischen Vernunft“ (1788) angedeutet, spezifiziert dies Kant in der „Kritik der Urteilskraft“ (1790b).

„[A]lle unsere Erkenntnis hebt von den Sinnen an, geht von da an zum Verstande, und endigt in der Vernunft, über welche nichts Höheres in uns getroffen wird, den Stoff der Anschauung zu bearbeiten und unter die höchste Einheit des Denkens zu bringen.“ (Kant 1787b, S.206)

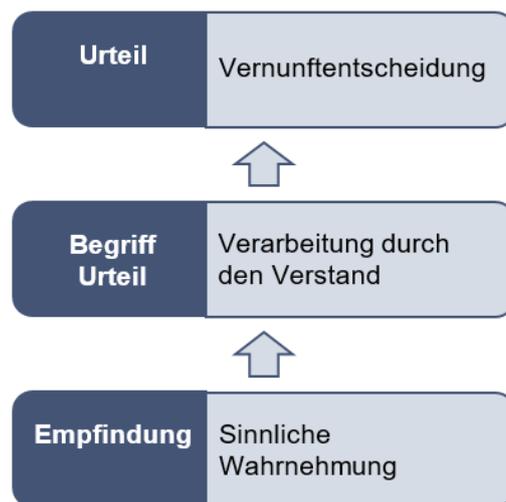


Abbildung 7 | Der Weg zur Erkenntnis von der sinnlichen Wahrnehmung zum (Vernunft-)Urteil nach Immanuel Kants „Kritik der Urteilskraft“ (1790b)

Ebenso wie in der Differenzierung zweier Erkenntnisquellen unterscheidet Kant auch hinsichtlich der Urteilskraft zwischen zwei unterschiedlichen Vermögen, er nennt diese Sensus communes:

„Unter dem sensus communis muss man die Idee eines gemeinschaftlichen Sinnes, d.i. eines Beurteilungsvermögens verstehen, welches in seiner Reflexion auf die Vorstellungsart jedes anderen in Gedanken (a priori) Rücksicht nimmt, um gleichsam an die gesamte Menschenvernunft sein Urteil zu halten und dadurch der Illusion zu entgehen, die aus subjectiven Privatbedingungen, welche leicht für objectiv gehalten werden könnten, auf das Urtheil nachtheiligen Einfluß haben würde, [...] Man könnte den Geschmack durch sensus communis aestheticus, den gemeinen Verstand durch sensus communis logicus bezeichnen.“

(Kant 1790a, S.293.30-296.24)

Mit der Trennung von Sensus communis logicus und Sensus communis aestheticus, dem ästhetischen Geschmacksurteil, verweist Kant letzteres in den unteren sinnlichen Wahrnehmungsbereich und kategorisiert es als rein subjektiv (Kern 2000, S.131):

„Was an Vorstellung eines Objects bloss subjektiv ist, d.i. ihre Beziehung auf das Subject, nicht auf den Gegenstand, ausmacht, ist die ästhetische Beschaffenheit derselben.“ (Kant 1790a, S.188)

Während das logische und das moralische Urteil (beeinflusst von der Instanz einer Moralvorstellung) der oben dargestellten Systematik von der sinnlichen Wahrnehmung über die Verarbeitung durch den Verstand zum Treffen eines Urteils folgen, verhält es sich beim Urteil des Sensus communis aestheticus anders, denn hier wird nicht ein

Objekt, sondern die subjektive Beziehung des Menschen zum Objekt in Augenschein genommen.

Der Sensus communis aestheticus, das Geschmacksurteil urteilt nicht über logische oder moralische Sachverhalte, sondern darüber, ob eine Beobachtung angenehm oder schön beziehungsweise nicht angenehm oder unschön ist.



Abbildung 8 | Die Trias des Wahren, Schönen und Guten
Inscription am Dachfries der Alten Oper in Frankfurt (aus: Zeit Online 2015, mit freundlicher Genehmigung von Harald-Reportagen).

Die Grundvoraussetzung für eine derartige ästhetische Bewertung ist nach Kant das Empfinden von Lust.

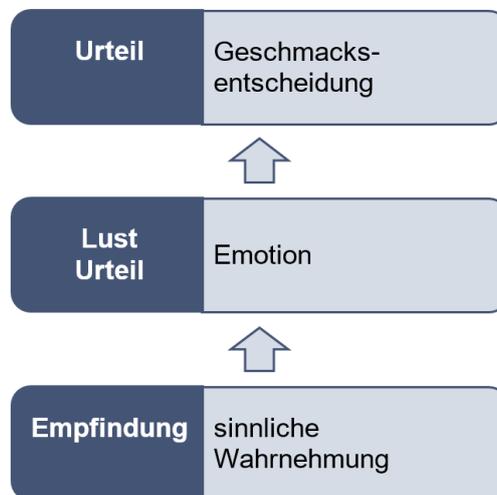


Abbildung 9 | Der Weg von der sinnlichen Wahrnehmung zur Geschmacksentscheidung nach Immanuel Kants „Kritik der Urteilskraft“ (1790b)

Im ästhetischen Erfahren werden einer Beobachtung nicht automatisch und zielgerichtet Attribute zugeschrieben, sondern das Besondere, das die Wirkung eines Phänomens mit dem Betrachter macht, damit dieser es als „schön“ empfindet, in einem kontemplativen, spielerischen, ungerichteten, freien Akt ergründet.

(Ästhetische) Freiheit kann nach Schiller jedoch erst dann erfolgen, wenn die beiden Grundtriebe vollständig entwickelt sind (Schiller 1795a, S.59; Schiller 1795c, S.617; Ehrenforth 2005, S.320). Die Wechselwirkung zwischen Stoff- und Formtrieb nennt

1. Einleitung

Schiller Spieltrieb, die Balance zwischen diesen beiden Trieben bezeichnet er als einen ästhetischen und somit idealen Zustand, in welchem der Mensch größtmögliche Willensfreiheit erfährt (Schiller 1795a, S.55 ff.; Schiller 1795b, S.606-610; Schiller 1795c, S.611-613).

„In dem ästhetischen Zustande ist der Mensch also Null, [...]. Daher muss man denjenigen Recht geben, welche das Schöne und die Stimmung, in die es unser Gemüt versetzt, in Rücksicht auf Erkenntniß und Gesinnung für völlig indifferent und unfruchtbar erklären. Sie haben vollkommen Recht, denn die Schönheit giebt schlechterdings kein einzelnes Resultat weder für den Verstand noch für den Willen, sie führt keinen einzelnen weder intellektuellen, noch moralischen Zweck aus, sie findet keine einzige Wahrheit, hilft uns keine einzige Pflicht erfüllen, [...]. Durch die ästhetische Kultur bleibt also der persönliche Werth eines Menschen, oder seine Würde, insofern diese nur von ihm selbst abhängen kann, noch völlig unbestimmt, und es ist weiter nichts erreicht, als daß es ihm nunmehr, von Natur wegen, möglich gemacht ist, aus sich selbst zu machen, was er will – dass ihm Freiheit, zu seyn, was er seyn soll, vollkommen zurückgegeben ist.“

(Schiller 1795a, S.83-84)

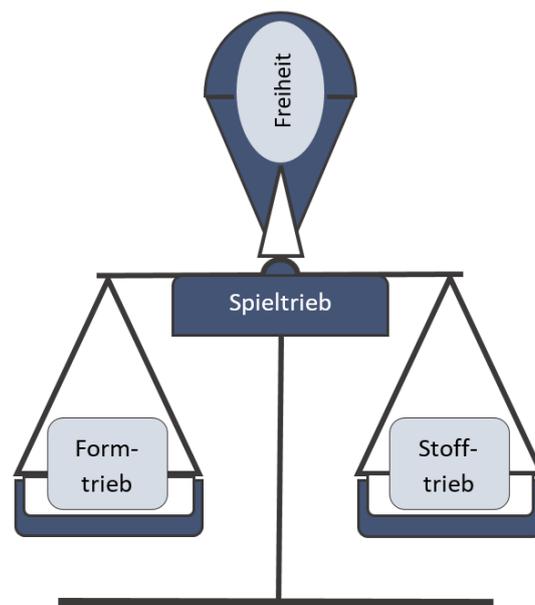


Abbildung 10 | Balance von Stofftrieb und Formtrieb
in Friedrich Schillers Briefen „Über die ästhetische Erziehung des Menschen“ (1795a/b/c/d)

Die Kunst als ein „unbegrenzttes Feld der Möglichkeiten“ (Valéry 1923; Seel 2000, S.29; Schnell 2008, S.40) mit der ihr innewohnenden Symbolträchtigkeit wurde im Besonderen für den ästhetischen Zustand als ideal beschrieben.

1. Einleitung

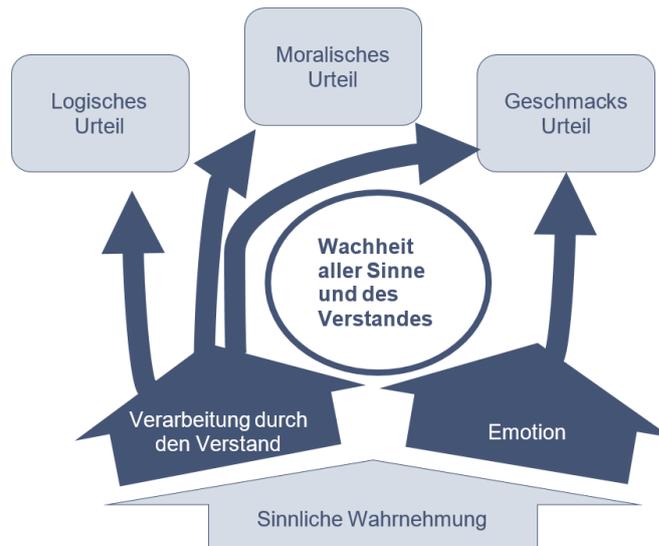


Abbildung 11 | Wege zu logischen, moralischen Urteilen und Geschmacksurteilen nach Immanuel Kants „Kritik der Urteilskraft“ (1790b)

Kant unterscheidet jedoch auch zwischen verschiedenen Formen eines Geschmacksurteils, dem Urteil über das Angenehme einer Sache und dem Urteil, ob etwas schön oder nicht schön ist.

Das Urteil über das Angenehme ist für Kant ein spontanes auf Triebbefriedigung gerichtetes Urteil ohne Anspruch darauf, dass dieses Urteil auf andere Menschen einer Gesellschaft ebenso zutrifft. Das Urteil zielt auf die Zweckmäßigkeit zur Befriedigung von akuten Bedürfnissen und folgt der Formel: „De gustibus non disputandum“.

Das Urteil über das Schöne hingegen nimmt demgegenüber mit dem Anspruch auf Allgemeinheit den Geschmack der anderen Mitglieder einer Gesellschaft ins Kalkül, indem man bei der Zuschreibung des Attributes „schön“ davon ausgeht, dass es auch den anderen Mitgliedern der Gesellschaft gefallen könnte.

Der bis dato synonym verwendete Begriff „Geschmack“, als der leibliche Genuss von Speisen wie Kunstwerken wurde hiermit zergliedert in einen niederen, körperlichen Geschmack des Gustatorischen und den „guten Geschmack“, einer Norm, der Mode, mit welcher sich eine Gesellschaftsschicht von einer tieferen Schicht distinguierte (Vanderbilt 2016, S.31, 32 und 106; Kern 2000, S.39, 43-44).

In der Folge wurde das Geschmacksurteil als „ein Zeugnis für die Wandelbarkeit aller menschlichen Dinge und die Relativität aller menschlichen Werte“ (Schmidt 2011, S.29) auch für die Betrachtung des Künstlerischen abgelehnt (Welsch 2012, S.37). In der Kunstbetrachtung rückten das autonome Genie und das von ihm geschaffene autonome Kunstwerk als Kontrapunkt zur gesellschaftlichen legitimierenden „Ästhetischen Erfahrung“ in den Mittelpunkt (Schmidt 2011, S.29).

1.1.2.3 Heutiger Ästhetikbegriff

Über die Klärung des Ästhetikbegriffs – ausgehend von der Etymologie und der Deutung bei Aristoteles, über den humanistischen Bildungsbegriff, der Unterscheidung von Sensus communis logicus und Sensus communis aestheticus durch Kant und dem

nach Stoff- und Formtrieb offenen ästhetischen Zustand, den Schiller formulierte – wurde in dieser Arbeit bislang der Zusammenhang der Bedeutungsvielfalt des Ästhetik-Konstrukts dargelegt.

Cinzia Di Dio und Vittorio Gallese sowie andere Neurowissenschaftler (Di Dio und Gallese 2009) leiten den Ästhetik-Begriff ebenso wie einige Autoren, die sich dem Thema aus philosophischer Sicht nähern, etymologisch her und weisen auf die letztlich fehlende Definition des Begriffs „Ästhetische Erfahrung“ hin. Nach Di Dio und Gallese erlaubt ästhetische Erfahrung dem Betrachter „to perceive-feel-sense“ (wahrnehmen-fühlen-beziehen) (Di Dio und Gallese 2009).

In der heutigen Zeit wird über den Begriff „Ästhetik“ (häufig mit Zusätzen wie Ästhetische Erfahrung, Ästhetische Praxis, Ästhetische Bildung) meist im pädagogischen Kontext diskutiert. Im Alltagsgebrauch wird das Adjektiv „ästhetisch“ zumeist für künstlerisch harmonisch und schön, dem Geschmack entsprechend benutzt.

Zu den jeweiligen Verwendungen folgende Hinweise:

Ästhetik im pädagogischen Kontext:

Bildungspolitisch wird nach PISA 2000 der ästhetischen Urteilskraft ein besonderer Wert zugeschrieben. So wird mittlerweile nicht nur in den künstlerischen Fächern wie zum Beispiel Musik versucht, ästhetische Erfahrungen zu sammeln, um in der heutigen von Diversität geprägten Welt handlungs- und urteilsfähiger zu sein. Auf der operativen Ebene wurden zum Beispiel in Deutschland Maßnahmen wie die Programme „Kulturagenten“ und „Kulturschulen in Hessen“, welche genau diese Thematik in den Mittelpunkt stellen, initiiert.

Zum umgangssprachlichen Gebrauch des Adjektivs „ästhetisch“:

Eine Differenzierung der Begriffe „Ästhetik“ oder „Geschmack“ für entweder nur künstlerische oder sinnliche beziehungsweise natürliche Phänomene wie in Kants „Kritik der Urteilskraft“ angelegt, hat sich in der Alltagssprache nicht durchgesetzt.

Ob sich nun über Geschmack streiten lässt oder nicht, besitzt ebenfalls Aktualität. In Diskursen unterschiedlicher Wissenschaftsbereiche wird dieses Thema mittlerweile differenziert betrachtet. So gibt es für die positive geschmackliche Bewertung von Merkmalen wie glatte Haut oder kräftiges Haar die Vorstellung von universalem Schönheitsempfinden, welches sich aus evolutionären Vorteilen unserer Vorfahren entwickelt hat (Merkmale für Gesundheit und Fruchtbarkeit) (Welsch 2012, S.292 ff.). Ebenfalls wird die holistische Selbstähnlichkeit von Objekten sowie die Symmetrie in Objekten als universal angesehen (Welsch 2012, S.302 ff.). Doch selbstverständlich existieren auch gesellschaftsabhängige Geschmacksunterschiede.

Bei scheinbar subjektiven Geschmacksempfindungen geht man mittlerweile in vielen Fällen davon aus, dass diese im Allgemeinen durch Prägungen entstehen (Vanderbilt 2016, S.16, 52 und 63).

An dieser Stelle sei der Blick auf den Anfang des Kapitels gelenkt, der etymologischen

Herleitung des Wortes Ästhetik aus dem altgriechischen aïsthēsis, Sinn:

Wie im Griechischen hat auch im Deutschen das Wort Sinn eine doppelte Bedeutung, von welcher man auf ein (neuronales) Netzwerk schließen kann. Georg Wilhelm Friedrich Hegel gibt im 18. Jahrhundert zur Semantik des Wortes Sinn folgende hierzu passende Ausführung:

„‘Sinn’ nämlich ist dies wunderbare Wort, welches selber in zwei entgegengesetzten Bedeutungen gebraucht wird. Einmal bezeichnet es die Organe der unmittelbaren Auffassung, das andere Mal heißt Sinn: die Bedeutung, den Gedanken, das Allgemeine einer Sache.“ (Hegel 1812, S.173)

Der Bedeutungsvielfalt des Ästhetikbegriffs, der dieses Kapitel nachging, ist nach John Dewey auch im heutigen Verständnis des Wortes „Sinn“ (beziehungsweise das englische sense als Bezugswort des englischsprachigen John Dewey) Rechnung getragen:

„Der Begriff ‘Sinn’ (‘sense’) erstreckt sich über eine breite Skala von Bedeutungsinhalten: Sensorium, Sensation (sensational: im Sinne von äußerer Sinneswahrnehmung; d.Ü.), Sensibilität, Sinnvolles (the sensible: hier drückt sich die im Angelsächsischen besonders deutliche Verbindung von äußerer, „objektiver“ Sinneswahrnehmung und Vernunft aus; d.Ü.), Sentimentalität und parallel dazu, Sinnlichkeit.“ (Dewey 1988, S.31)

Immer wieder findet man die Ästhetik im Spannungsfeld (oder um nochmals den Bezug zur folgenden neurologischen Forschung zu bemühen, im Netzwerk) sinnlicher Wahrnehmung, kognitiver Verarbeitung und Emotionalität.

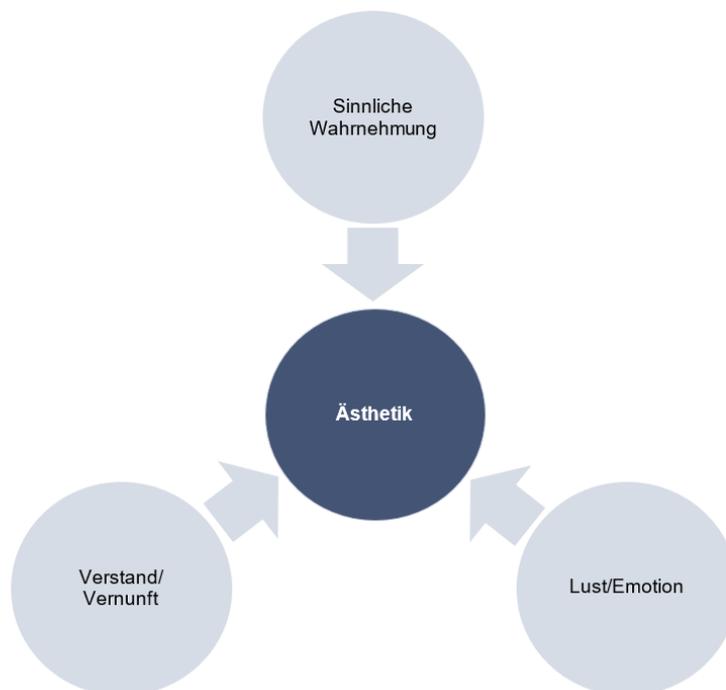


Abbildung 12|Sinnlichkeit, Kognition (Verstand/Vernunft) und Lust/Emotion als Hauptaspekte der Begriffsbedeutung von „Ästhetik“

1.2 Ästhetik im Kontext der Wissenschaften

1.2.1 Übersicht

Im bisherigen Verlauf der Arbeit wurde der Zusammenhang unterschiedlicher Aspekte des Begriffs Ästhetik dargestellt. Neben der aus der Etymologie herleitbaren sinnlichen Wahrnehmung, wurde die Beschäftigung mit dem Sinn für Schönheit als auch eine intensive, reflexive und emotionale Betrachtung von Objekten und Situationen, jenseits der alltäglichen Auseinandersetzung, beleuchtet.

Seit der Veröffentlichung der Ergebnisse der internationalen Schulleistungsstudie PISA im Jahr 2000 widmet sich die nationale und internationale Bildungsforschung intensiv den Vorzügen einer ästhetischen Bildung in einer zunehmend vielfältiger und internationaler werdenden Gesellschaft. Auch in Wirtschaftsunternehmen rücken hinsichtlich der Professionalisierung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Themen wie Kreativität in den Fokus.

Evolutionsforscher beschäftigen sich mit der evolutionären Relevanz von Phänomenen wie künstlerischer Betätigung und Schönheit (Welsch 2012, S.311 ff.) – Phänomene, die archäologisch nachweisbar das Menschsein mindestens 36 000 Jahre begleiten (Hodges 2016). Das Finden von idealen Replikationspartnern (Schönheit kann hierbei Merkmal für Gesundheit, Stärke und Fruchtbarkeit sein) und die Fähigkeit des Schaffens von sozialer Zugehörigkeit werden als wichtige evolutionäre Gründe von Schönheit und Kunst aufgezeigt. Von einigen zeitgenössischen Ethnologen wird die evolutionäre Relevanz dieser beiden Parameter bestritten und die interessenlose Kontemplation von Kunst aufgezeigt (Altenmüller und Kopiez 2013). Die Neurowissenschaftler Anne Blood und Robert Zatorre weisen auf das Paradoxon hin, dass Musik zwar nicht dem originären Überleben, aber durchaus dem Wohlbefinden und somit sicherlich auch einem lebensnotwendigen Gut dient (Blood und Zatorre 2001).

Mit Blick auf das neuhumanistische Bildungsideal mit den Parametern Sensus communis und Geschmack als Gegengewicht zum Primat der empirischen Forschung, soll an dieser Stelle in dieser Arbeit, die einen interdisziplinären Fokus beinhaltet, der Zusammenhang zwischen dem neuzeitlichen Naturwissenschaftsverständnis und dem als Kontrapunkt zur Empirie entstandenen geisteswissenschaftlichen Phänomen der Ästhetik dargestellt und somit der interdisziplinäre Kern der Arbeit beleuchtet werden. Dieser folgende Abschnitt führt zudem zum experimentellen Teil der Arbeit.

Die Mehrdimensionalität (Tewes 2012) der Bedeutung von Ästhetik sollte jedoch hierbei nicht außer Acht gelassen werden und eine exploratorische Fokussierung schlussendlich immer wieder in diesen großen Rahmen gestellt werden.

1.2.2 Gustav Theodor Fechner: Experimentelle Ästhetik

Gustav Theodor Fechner gilt als Begründer der Psychophysik (Betzler und Nida-Rümelin 2012, S.307), das heißt der Beschäftigung mit der Beziehung von in physikalischen Einheiten quantitativ-messbaren physischen Reizen und subjektiven psychischen Empfindungen (Fechner 1860).

1. Einleitung

Der Fokus Fechners liegt in der Betrachtung der Wechselwirkung zwischen psychologischen Beobachtungen des Verhaltens und des Erlebens der (physischen) Umwelt sowie dem Zusammenhang von psychologischen Beobachtungen und physischen beziehungsweise physiologischen Eigenschaften des Gehirns (Chatterjee 2011).

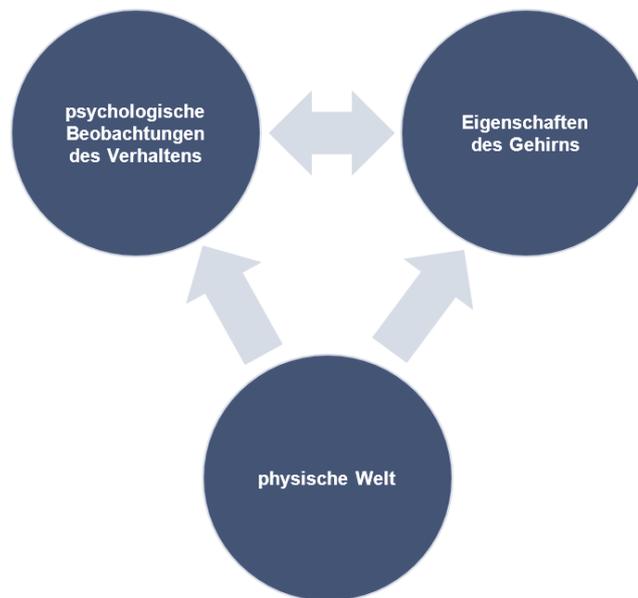


Abbildung 13 | Ästhetikmodell nach Gustav Theodor Fechner

Das Zusammenspiel der physischen Welt, psychologischer Beobachtungen und physischer beziehungsweise physiologischer Eigenschaften des Gehirns. (Fechner 1860)

1876 formuliert Fechner in dem Werk „Vorschule der Ästhetik“ (Fechner 1876) empirische Grundlagen für eine experimentelle Ästhetik (Allesch 2008) zu denen unter anderem folgende „Prinzipien“ zählen (Fechner 1876; Jacobsen et al. 2006; Betzler und Nida-Rümelin 2012, S.308):

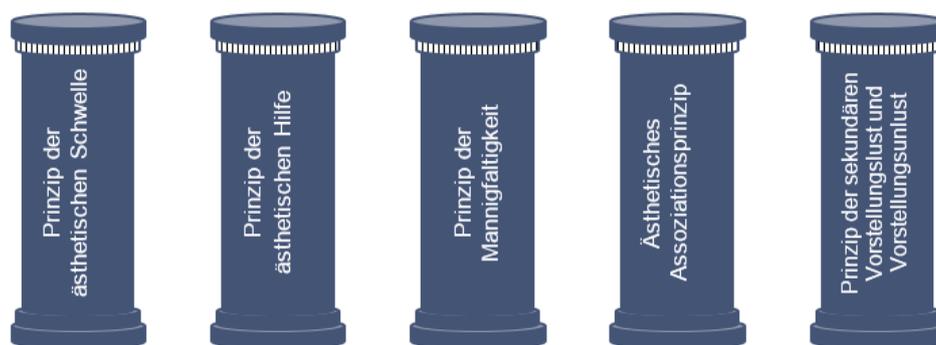


Abbildung 14 | Prinzipien der experimentellen Ästhetik von Gustav Theodor Fechner (1876)

1.3 Neuroästhetik

1.3.1 Historische Marken

Den Forschungsschwerpunkt Neuroästhetik beschreibt 1998 erstmals Semir Zeki (Hodges 2013, Keller 2013). Er stellt seine Vorstellungen darüber 2001 wie folgt dar:

„The future field of what I call neuroesthetics will, I hope, study the neural basis of artistic creativity and achievement, starting with the elementary perceptual process.“
(Zeki 2001, S.52)

Wie Fechner haben auch Zeki und andere neuroästhetische Forscher im Besonderen die visuellen Künste im Fokus (Chatterjee 2011).

Zeki geht von großen Parallelen zwischen den künstlerischen Strategien von Künstlern und den Konzepten sensueller Verarbeitung im Gehirn aus (Zeki 2001). Künstler, so Zeki, bedienen sich dieser neuronalen Strukturen quasi unbewusst.

Den Mehrwert für die neurowissenschaftliche Forschung beschreibt Zeki folgendermaßen:

„[...] visual art also obeys the laws of the visual brain, and thus reveals these laws to us.“ (Zeki 2001, S.52)

Um diesen Gedanken auch aus der Warte des Kunstrezipienten zu akzentuieren, zitiert Zeki Paul Klee:

„Kunst gibt nicht das Sichtbare wieder, sondern Kunst macht sichtbar.“
(Zeki 2001, S.52)

Die Beschäftigung mit visueller Kunst trägt in Zekis Betrachtungen folglich zum Verständnis der neuronalen visuellen Verarbeitung bei.

Reziprok wäre zu erwähnen, dass der Nachweis einer Wechselwirkung zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Prozessen die Bedeutung einer Sensibilisierung der sensorischen Wahrnehmung und somit den Wert von Kunst als Handwerk gesellschaftlich stärken kann (Vogt 2004).

Als Konzepte der zerebralen visuell-sensorischen Verarbeitung beschreibt Zeki unter anderem die Konstanz (man erkennt ein Objekt unabhängig vom Blickwinkel, von der Distanz oder von den Lichtbedingungen) und die Abstraktion. Beide Parameter dienen der Entlastung des Gedächtnisses, denn ohne derartige Konzepte wäre das Gehirn durch Memorieren vieler sowohl allgemeiner als auch besonderer Details sehr schnell überfordert (Zeki 2001).

Für Anjan Chatterjee beinhaltet ästhetische Wahrnehmung neben der sinnlichen Wahrnehmung auch die emotionale Antwort und die ästhetische Bewertung (Chatterjee 2011). Er kategorisiert ästhetische Wahrnehmung neurologisch in einem generellen Modell.

1. Einleitung

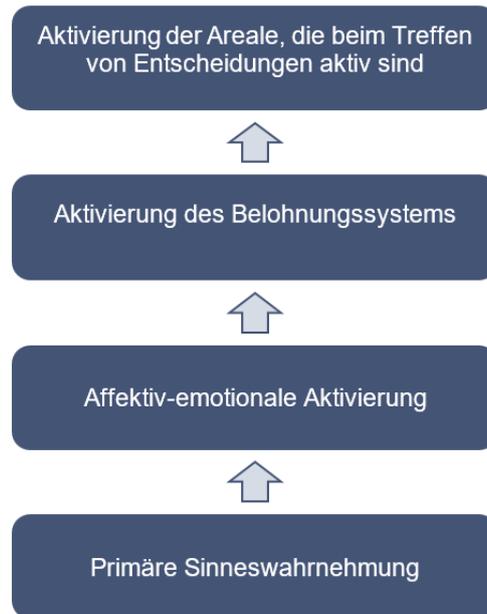


Abbildung 15 | Modell der ästhetischen Wahrnehmung
nach Anjan Chaterjee 2011

1.3.2 Neuronale Korrelate ästhetischer Wahrnehmung

Die neuronalen Korrelate des oben dargestellten Netzwerkes beschreiben Marcos Nadal und Marcus Pearce wie folgt:

„Functional analysis of these regions suggests that aesthetic appreciation of painting, music, and dance involves at least three different kinds of measurable brain activity:

- An enhancement of low-level cortical sensory processing
- High-level top-down processing and activation of cortical areas involved in evaluative judgment
- An engagement of the reward circuit including cortical (anterior cingulate, orbitofrontal and ventromedial prefrontal) and subcortical (caudate nucleus, substantia nigra and nucleus accumbens) regions, as well as some of the regulators of this circuit (amygdala, thalamus, hippocampus)“

(Nadal und Pearce 2011, S.178)

Weitere Hinweise aus der neurowissenschaftlichen Forschung zu den Parametern primäre, sekundäre und tertiäre Sinneswahrnehmung, emotionale Antwort auf ästhetische Reize, Aktivierung des Belohnungssystems bei ästhetischen Prozessen und zum ästhetischen Urteil werden im Folgenden zusammengefasst (für einen Überblick siehe auch Hodges 2013).

1.3.2.1 Sinneswahrnehmung

Neben den primären und sekundären sensuellen Arealen spielt der Orbitofrontalkortex² in vielen Studien eine prominente Rolle (Brown et al. 2011):

- So ist der Orbitofrontalkortex in der sensorischen Verarbeitung hinsichtlich des Monitorings und bei Lernprozessen aktiviert.
- Innerhalb des Orbitofrontalkortex nimmt man sinnesspezifische Areale an.
- Gemeinsam mit der anterioren Insula wird der Orbitofrontalkortex als das „Tor zur bewussten subjektiven Erfahrung“ bezeichnet (Kringelbach 2005, Brown et al. 2011).
- Brown et al. bezeichnen die rechte anteriore Insula als supramodales Areal.

1.3.2.2 Emotionale Antwort und das Belohnungssystem

Stefan Koelsch beschreibt, dass eigentlich alle limbischen (einschließlich Nucleus accumbens und Amygdala) und paralimbischen Strukturen (mit dem Orbitofrontalkortex, dem Gyrus cinguli und der Insula) beim Musikverarbeiten aktiv sind (Koelsch 2010, Hodges 2013). Diese Strukturen werden im Wesentlichen auch von Anne J. Blood und Robert J. Zatorre (Blood und Zatorre 2001; Hodges 2013), Hidaki Kawabata und Semir Zeki (Kawabata und Zeki 2004, Jacobsen et al. 2006), Anjan Chatterjee (Chatterjee 2011) sowie Steven Brown et al. (Brown et al. 2011) beschrieben.

Mit diesen zum Belohnungssystem gehörenden Strukturen sind bei ästhetischer Wahrnehmung somit die gleichen Netzwerke aktiv, die auch bei Drogenmissbrauch, Essen oder Sexualität eine Rolle spielen (Blood und Zatorre 2001, Zeki 2010). Als Grund für die Aktivierung von ähnlichen neuronalen Netzwerken für ästhetische Prozesse, wird die bereits erwähnte evolutionäre Bedeutung der Bewertung von Schönheit und Gefallen bezüglich Partnerwahl und sozialer Gruppenzugehörigkeit genannt. Diese sozialen Notwendigkeiten haben die Basisnetzwerke kooptiert, so lässt sich auch die körperliche Reaktion auf Kunst erklären. Interessanterweise sind paralimbische Strukturen in soziale Kognition und Empathie ebenfalls involviert (Brown et al. 2011).

Die beobachtete Beteiligung von motorischen (Brown et al. 2011) sowie supplementär-motorischen Arealen und Cerebellum (Blood und Zatorre 2001) lässt sich gleichfalls aus der körperlichen Reaktion auf Kunst interpretieren.

1.3.2.3 Ästhetische Bewertung

Neben der oben beschriebenen Beteiligung der primären und sekundären Sinneswahrnehmung, der emotionalen Beteiligung und der Involvierung des Belohnungssystems werden in Zusammenhang mit ästhetischer Bewertung verschiedene frontopolare Strukturen genannt (Chatterjee 2011), die jedoch nicht nur bei ästhetischen Urteilen, sondern auch bei anderen Urteilsfindungen koaktiviert sind (Chatterjee 2011, Brown et al. 2011). Somit unterscheiden sich diese Ansätze von den philosophischen Ansätzen dadurch, dass sie nicht von einem für ästhetische Wahrnehmung

² Spezifiziertere Ausführungen zum Orbitofrontalkortex siehe Kapitel 1.4 *Präfrontaler Kortex*.

1. Einleitung

entstandenen neuronalen Netzwerk ausgehen, sondern eher annehmen, dass Künstler (unbewusst) die neuronalen Systematiken kooptieren (Brown et al. 2011).

Als Zusammenfassung der studierten neuroästhetischen Forschungen lässt sich das Phänomen „Ästhetik“ als ganzheitliches Netzwerk von sinnlicher Wahrnehmung, emotionaler Verarbeitung, Kognition und homöostatischen Prozessen beschreiben.

Große Übereinstimmungen zu den Betrachtungen der Philosophie sind erkennbar. Jedoch soll hier auf die schon in der Philosophie ambivalente Diskussion eines Top-Down-bestimmten Prozesses hingewiesen werden, die in den Neurowissenschaften in der Integration von Bottom-Up und Top-Down-Prozessen aufgelöst wird.

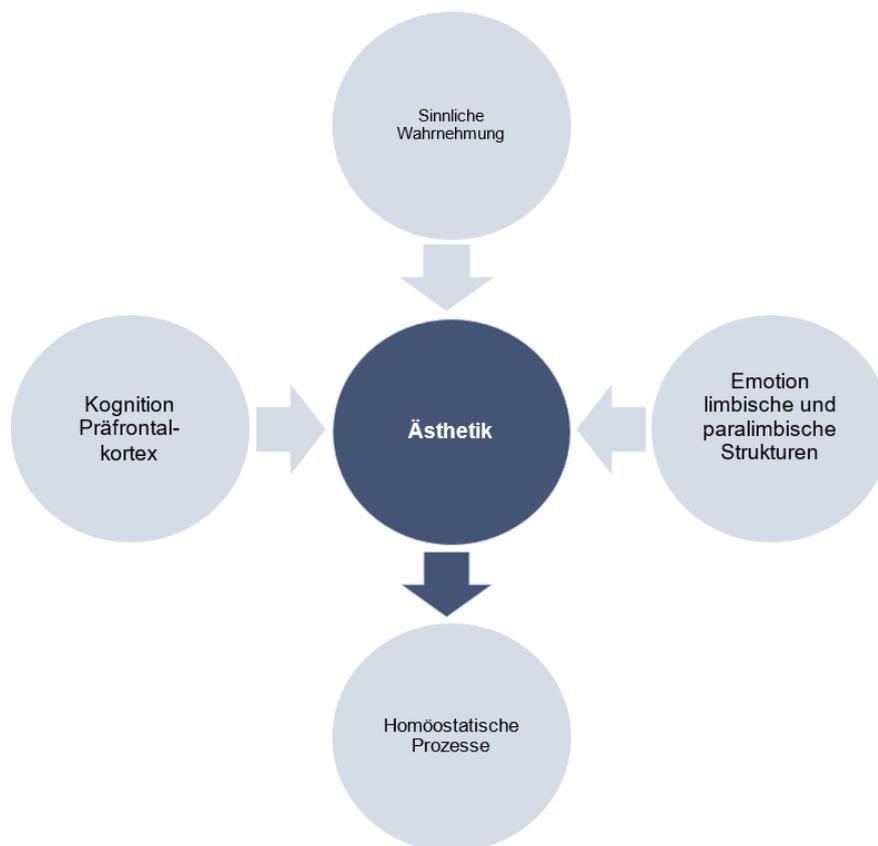


Abbildung 16 | Physiologische Aspekte ästhetischer Wahrnehmung

1.4 Präfrontaler Kortex

Bei der Frage nach der neurologischen Verortung dessen, was dem Menschen die Möglichkeit zu ästhetischen Urteilen gibt, die von der Philosophie seit dem 18. Jahrhundert als Freiheit im ästhetischen Zustand bezeichnet wird, verweisen Neurowissenschaftler auf den rostralen Präfrontalkortex und hier im Besonderen auf die Region des Brodmann-Areals 10 (BA10) (Gilbert et al. 2006, Jacobsen et al. 2006, Burgess et al. 2007). Eine Aktivierung dieser Region wird auch im Zusammenhang mit moralischen und sozialen Urteilen beschrieben (Greene et al. 2001, Moll et al. 2001, Johnson et al. 2002, Cunningham et al. 2003, Jacobsen et al. 2006).

1. Einleitung

Als weitere frontopolare Korrelate ästhetischen Urteils werden BA9, 45 und 47 genannt (Greene et al. 2001, Moll et al. 2001, Johnson et al. 2002, Cunningham et al. 2003, Jacobsen et al. 2006).

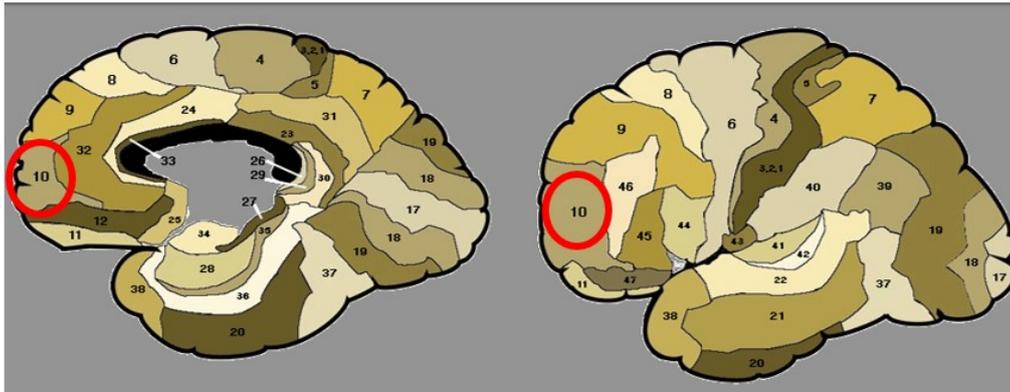


Abbildung 17 | Überblick über die Brodmann-Areale
links mediale, rechts laterale Oberfläche, BA10 zur besseren Orientierung eingekreist.
Mit freundlicher Genehmigung von: Byron Bernal.

In der Fachliteratur wird die Region des BA10 auch mit den Begriffen (rostraler) Präfrontalkortex, anteriorer beziehungsweise vorderer präfrontaler Kortex, Frontallappen, präfrontaler Kortex oder orbitofrontaler Kortex bezeichnet (englisch: prefrontal cortex, frontal pole, frontopolar pole, frontopolar cortex, rostral prefrontal cortex) (Burgess et al. 2007).

Der rostrale Präfrontalkortex ist das größte cytoarchitektonische Areal im menschlichen Präfrontalkortex (Gilbert et al. 2006). Aufgrund der großen evolutionären Expansion und der großen Volumendifferenz im Vergleich mit Menschenaffen wird dem rostralen Präfrontalkortex eine wichtige Rolle im menschlichen Denken zugeschrieben (Gilbert et al. 2006).

Katherine Semendeferi et al. vermuten, dass die geringe Zelldichte des rostralen Präfrontalkortex Grund für seine nachweisbare starke Vernetzung mit anderen Hirnregionen ist. Die große Anzahl von Dendriten im rostralen Präfrontalkortex ist ein Hinweis für die starken Vernetzungstendenzen (Semendeferi et al. 2001, Semendeferi et al. 2011, Dumontheil 2014).

BA10 ist eine der letzten Hirnregionen, die in der Entwicklung des Menschen ausreifen. Mehrere Autoren vermuten, dass BA10 die Region im Gehirn ist, die als letzte myelinisiert wird (Fuster 1997, Jacobsen et al. 2006, Burgess et al. 2007).

Bei fortschreitender Reifung ist eine Zunahme der Aktivierung des linken rostrolateralen Präfrontalkortex feststellbar (Dumontheil 2014). Iroise Dumontheil beschreibt eine sich entwickelnde Geschwindigkeit der neuronalen Antworten im Präfrontalkortex innerhalb des Reifeprozesses des Menschen (Dumontheil 2014).

Daniele Amati und Tim Shallice nehmen an, dass der rostrale Präfrontalkortex kognitive Verknüpfungen und Berechnungen ermöglicht, die hinter den kognitiven Fähigkeiten des modernen Menschen stehen und beschreiben dies als „non-routine computational operations“ – als nicht schematisierte Handlungen (Amati und Shallice 2007, Dumontheil 2014).

In der Metaanalyse “Functional Specialization within Rostral Prefrontal Cortex (Area 10): A Meta-analysis” (Gilbert et al. 2006) und im Review “Development of abstract thinking during childhood and adolescence: The role of rostrolateral prefrontal cortex” (Dumontheil 2014) ist eine Aktivierung des Präfrontalkortex in folgenden Zusammenhängen beschrieben:

- Integration von Informationen (integration of information) (Badre und Wagner 2004; Gilbert et al. 2006; Wolfensteller und von Cramon 2011, Dumontheil 2014)
- Gedächtnisabruf (memory retrieval models) (Gilbert et al. 2006)
- unschematisierte Handlungen (non-routine computational operations) (Christoff und Gabrieli 2000, Amati und Shallice 2007, Dumontheil 2014)
- abstraktes Denken (abstract thoughts) (Christoff und Gabrieli 2000, Koechlin et al. 2003, Ramnani und Owen 2004, Amati und Shallice 2007, Gilbert et al. 2006, Dumontheil 2014)
- Reaktionsbalance zwischen stimulusabhängigen und -unabhängigen Reizen (Dumontheil 2014)
- Lenken von Aufmerksamkeit (branching and reallocation of attention) (Gilbert et al. 2006)
- Überwachung (reality monitoring) (Simons et al. 2008, Dumontheil 2014)
- Planen und Abschätzen von zukünftigen Handlungen (prospective memory) (Gilbert et al. 2006)
- Entscheidungen treffen (decision making) (Dumontheil 2014)
- analoges und relatives Begründen (analogical and relational reasoning) (Crone 2009, Dumontheil 2014)
- Internalisierungsprozesse (Gilbert et al. 2006)

David Badre et al. beschreiben eine rostral-kaudale Achse der aktivierten Hirnareale in Bezug auf Komplexitäts- und Abstraktionssteigerung von Aufgaben (Badre et al. 2008, Dumontheil 2014).

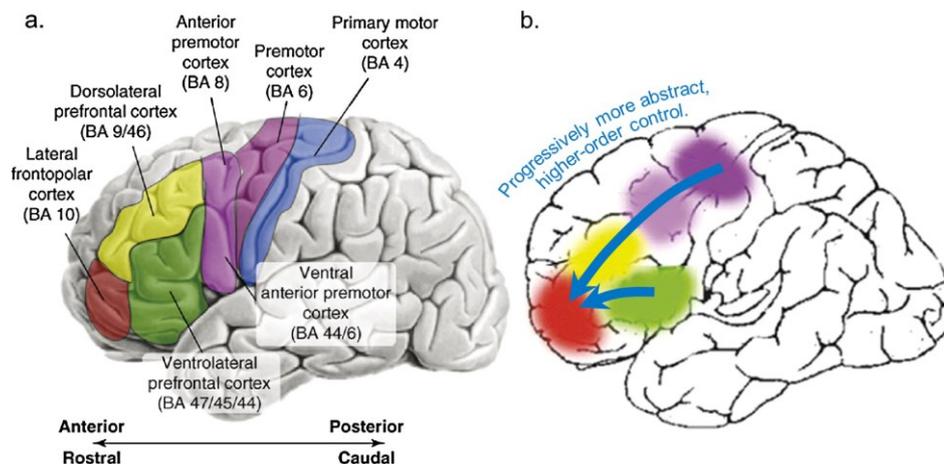


Abbildung 18 | Aktivierung des Neokortex in Abhängigkeit des steigenden Abstraktionsgrades

a. Rostral-kaudale Achse (aus: Badre et al. 2008, mit freundlicher Genehmigung von: Elsevier; David Badre, Lizenznummer: 4991170609131). b. Modell der Aktivierung des Neokortex in Abhängigkeit des steigenden Abstraktionsgrades einer Aufgabe (aus: Dumontheil 2014, mit freundlicher Genehmigung von: Elsevier; Iroise Dumontheil, Lizenznummer: 4991181423169).

Kalina Christoff und John D. E. Gabrieli beschreiben funktional eine Aktivierung des dorsolateralen Präfrontalkortex bei der Verarbeitung von akuten, direkten Sinnesreizen. Der frontopolare Präfrontalkortex hingegen ist eher bei Aufgaben, die intensive Erfahrungswerte abrufen, aktiv (Christoff und Gabrieli et al. 2000).

Die Autoren sehen eine eher ventral-dorsale Organisation abstrakt-komplexer Verarbeitung im präfrontalen Kortex (Christoff und Gabrieli et al. 2000).

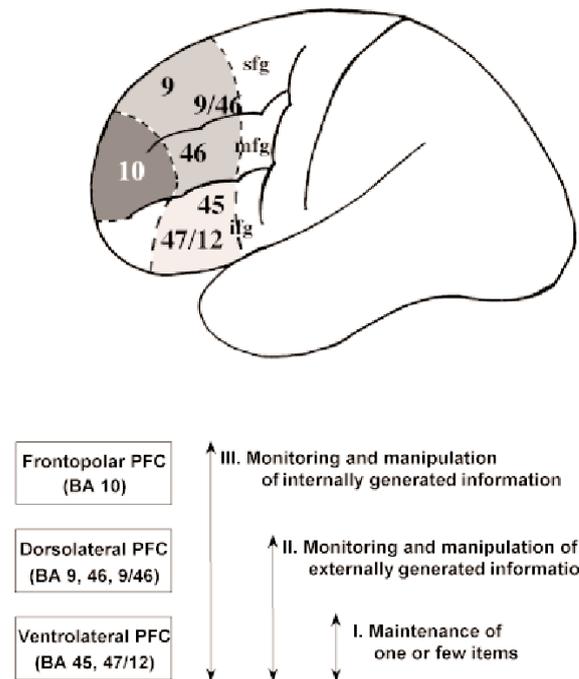


Abbildung 19 | Dreistufiges Modell der hierarchischen Organisation der Funktionen des Präfrontalkortex von Kalina Christoff und John D. E. Gabrieli (Christoff und Gabriele 2000, mit freundlicher Genehmigung von: Kalina Christoff, Springer nature; Lizenznummer: 4994171312870).

PFC = Präfrontalkortex; ifg = Gyrus frontalis inferior

mfg = Gyrus frontalis medius

sfg = Gyrus frontalis superior

William A. Cunningham et al. unterscheiden zwischen impliziter (relativ automatischer, eventuell unbewusster) und expliziter (kontrollierter, bewusster und reflektierter) Beurteilung (Cunningham et al. 2004). Explizite Beurteilung beinhaltet die Berücksichtigung von Spannungsfeldern und zusätzlicher, für die Bewertung relevanter Informationen (Cunningham et al. 2004), das heißt von Situationen, in denen die Bewertung nicht alleine von der bereits bestehenden eigenen Meinung abhängig ist.

Cunningham et al. zeigen, dass die Amygdala eher in unbewusste und automatische Bewertung involviert ist (Cunningham et al. 2004). Die Aktivität im medialen (BA10) und ventrolateralen (BA47) Präfrontalkortex ist hingegen größer, wenn eine Aufgabe eine explizite Bewertung erfordert (Cunningham et al. 2004). BA10 und BA47 sind am meisten aktiv bei rivalisierenden, good/bad-Werturteilen (Cunningham et al. 2004).

Thomas Jacobsen et al. verweisen auf die Aktivierung von BA9, 10 und des temporo-parietalen Übergangs (BA45 und 47) (Jacobsen et al. 2006) bei ästhetischer Beurteilung und zeigen die Bedeutung von BA45 und 47 für evaluatives Urteilen im Kontrast zu „sachlichen“ Beurteilungen (Jacobsen et al. 2006).

Sam J. Gilbert et al. geben in ihrer Metaanalyse (Gilbert et al. 2006) über den präfrontalen Kortex zur Lateralisierung folgende Hinweise:

- Bei Aufgaben wie “problem solving” (Christoff et al. 2003), “maintaining intentions over a delay” (Burgess et al. 2003), “coordinating goals and subgoals” (Koechlin et al. 1999, Braver und Bongiolatti 2002, Ramnani und Owen 2004) und “basing

responses on information recalled from episodic memory” wird eine funktionale Lateralisierung beobachtet (Koechlin et al. 2003).

- Der mediale Teil des BA10 ist bei emotionalen Zusammenhängen beziehungsweise während Mentalisierungsprozessen aktiv (Gilbert et al. 2006).
- Es besteht eine Aktivierung des lateralen Präfrontalkortex in Zusammenhang mit Schlussfolgerungen und dem episodischen Gedächtnis.
- Es sind keine signifikanten Unterschiede in der Symmetrie der Hemisphären feststellbar (Gilbert et al. 2006).

1.5 Kognitiv-affektives Modell der ästhetischen Erfahrung

Im Folgenden werden – um eine Klammer um die bislang erörterten Aspekte zu bilden – Modelle vorgestellt, die die Parameter sinnliche Wahrnehmung, emotionale sowie kognitive Verarbeitung integrieren. Diese Modelle sind auch für den experimentellen Teil der vorliegenden Arbeit von Bedeutung.

Bereits 1971 beschrieb Gerard Kneiter folgende Charakteristika ästhetischer Erfahrung:

- Fokus
- Wahrnehmung
- Kognition
- Affekt
- Kulturelle Matrix beziehungsweise kultureller Kontext (Kneiter 1971, Hodges 2013)

Diesem Modell folgt auch Patrik N. Juslin. Ziel der ästhetischen Verarbeitung ist für Juslin das ästhetische Urteil von Schönheit, Ausdruck, Innovation, Emotion, musikalische Fähigkeiten, Botschaft, Stil und die Erfahrung des Außergewöhnlichen/des Großartigen (Juslin 2013, Hodges 2013).

John C. Eccles' Projektionskaskade gibt bezüglich der primären, sekundären, tertiären und weiteren Verarbeitung sowie deren Verknüpfung ebenfalls bereits seit den 1970er Jahren einen Überblick über die Netzwerke der ästhetischen Verarbeitung (Popper und Eccles 1977, S.304).

1. Einleitung

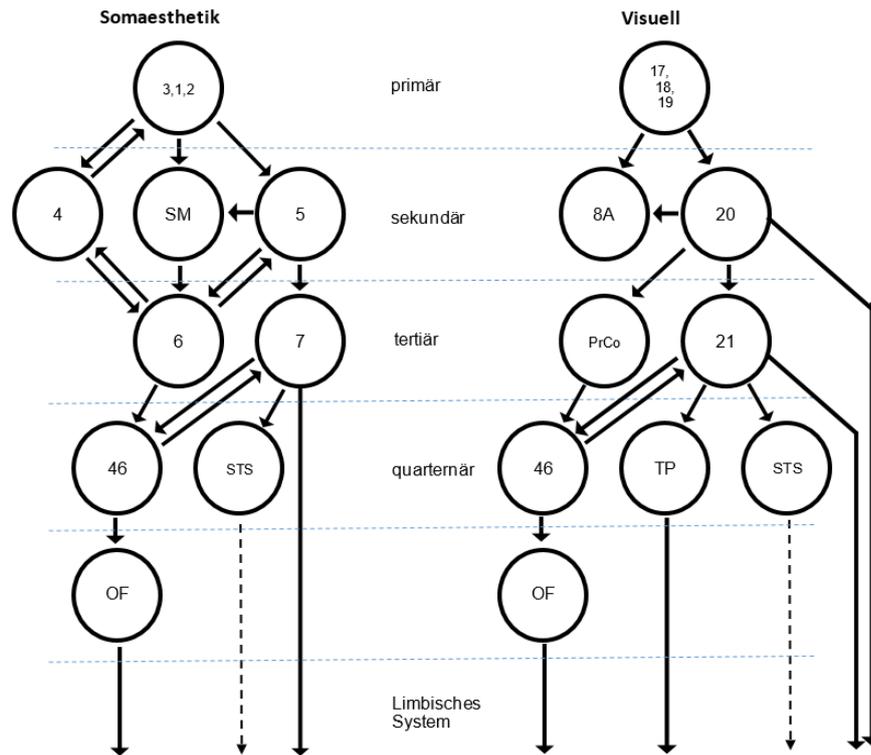


Abbildung 20 | Projektionskaskade für die somaesthetische (a) und visuelle (b) Verarbeitung im Gehirn von John Eccles (Popper und Eccles 1977, S.304, mit freundlicher Genehmigung des Piper-Verlags (Reproduktion))

SM = supplementär-motorisches Areal

STS = Sulcus temporalis superior

TP = Temporalpol

PrCo = präzentral-agranuläres Feld

OF = Orbitofrontalkortex

Die Zahlen weisen die entsprechenden Brodmann-Areale aus

Als integrierendes und wissenschaftsübergreifendes Modell soll das kognitiv-affektive Modell von Helmut Leder et al. erwähnt sein (Leder 2004, Belke und Leder 2006), in welchem der Verarbeitungsprozess der (visuellen) Wahrnehmung von der perzeptuellen sinnlichen Wahrnehmung über eine interpretierend-kognitive Verarbeitung bis hin zum ästhetischen Urteil beschrieben ist.

Der emotionale Ausgangszustand wird in diesem Modell entschieden von der Klassifizierung eines Objektes als Kunstwerk bestimmt³.

Leder et al. beschreiben im kognitiv-affektiven Modell eine emotionale (bewusste oder/und unbewusste) Evaluation auf allen Verarbeitungsebenen.

³ An dieser Stelle wird auf die Warnung innerhalb des philosophischen Diskurses hinsichtlich einer Engführung des alleinigen Bezugs der ästhetischen Wahrnehmung auf Kunst verwiesen (Seel 2000, S.44).

1. Einleitung

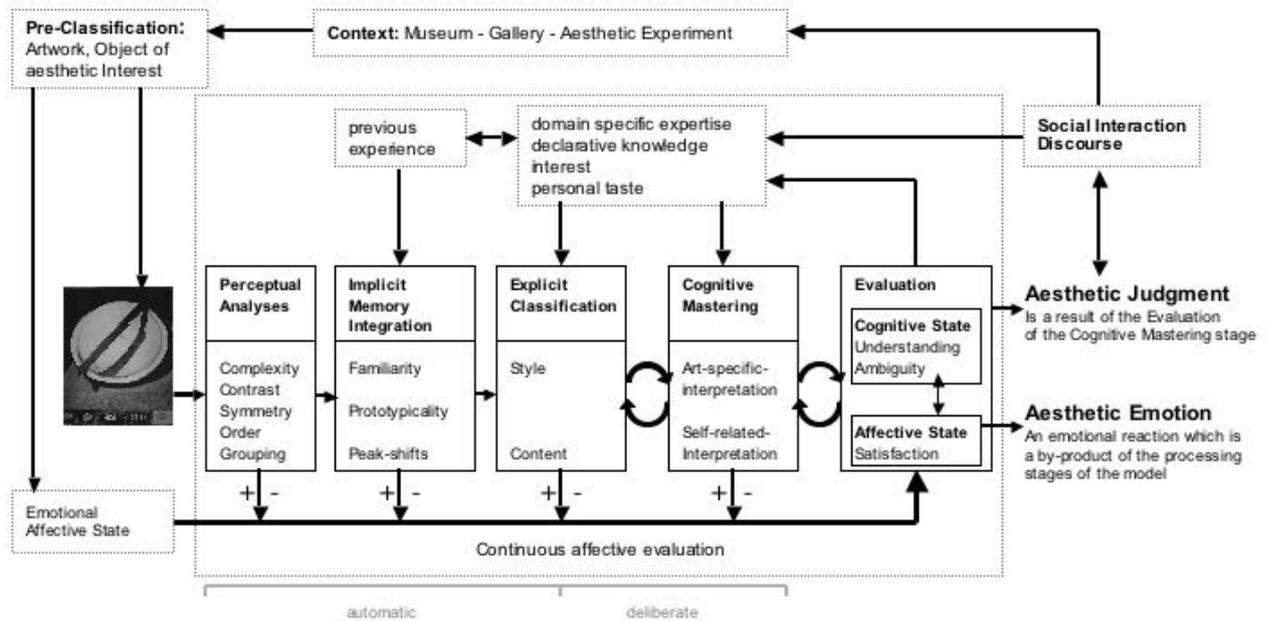


Abbildung 21 | Kognitiv-affektives Modell der ästhetischen Erfahrung

(aus: Leder et al. 2004, mit freundlicher Genehmigung von: Helmut Leder, John Wiley and Sons, Lizenznummer: 4991940142182).

Christian Tewes bemängelt am kognitiv-affektiven Modell von Leder et al. das Fehlen der „leiblichen Verankerung“ (Tewes 2011) ästhetischer Erfahrung und verweist auf den im Enaktivismus (Stangl 1989) beschriebenen Ansatz. Schon Brown et al. nennen diesbezüglich als zusätzliche Pfade des Phänomens Ästhetik homöostatische Prozesse und die Bewegungskontrolle (Brown et al. 2011) und erweitern somit die Dimension des Modells von Leder et al.

Dieses Kapitel abschließen wird ein Hinweis auf das sogenannte „Default Mode Network“. Dieses wird als Ruhenetzwerk diskutiert, welches in bestimmten Zusammenhängen die Aktivität senkt (Raichle et al. 2001) und in Verbindung mit Treibenlassen von Gedanken und selbstbezogenen Denken thematisiert wird.

Im Zusammenhang mit ästhetischer Wahrnehmung wurde das „Default Mode Network“ als aufgabenübergreifend (Vessel et al. 2012) beschrieben. Edward A. Vessel et al. beschreiben des Weiteren einen stufenartigen Aktivitätsanstieg bei höchst bewegenden ästhetischen Eindrücken, wohingegen gering oder mittelmäßig bewegende Eindrücke keine Veränderungen in diesem Netzwerk zeigen (Vessel et al. 2012). Ein Zusammenspiel des „Default Mode Network“ mit aktiven nach außen gerichteten Wahrnehmungsprozessen gilt in Zusammenhang mit ästhetischer Wahrnehmung als wahrscheinlich.

In der Einleitung dieser Arbeit wurde bislang eine umfassende Begriffsdefinition von Ästhetik aus dem philosophischen Zusammenhang heraus gegeben (Kapitel 1.1 *Ästhetik*). Im weiteren Verlauf wurden Ansätze und Forschungen zum Ästhetik-Konstrukt in den (Neuro-)Wissenschaften beschrieben (Kapitel 1.2 *Ästhetik im Kontext der Wissenschaften* und Kapitel 1.3 *Neuroästhetik*). Zur kontextuellen Einordnung wurden bis hierhin abschließend Modelle ästhetischer Wahrnehmung vorgestellt (Kapitel 1.5 *Kognitiv-affektives Modell der ästhetischen Erfahrung*).

Dem Hörkortex als quasi zweiter Pol des Netzwerkes ästhetisch-auditorischer Wahrnehmung werden sich die folgenden Kapitel widmen, um am Ende der Einleitung schließlich die Fragestellung samt dazugehöriger Hypothesen abzuleiten.

1.6 Neuronale auditorische Verarbeitung

1.6.1 Neuronale Aspekte des Musizierens

Neurologische Korrelationen ästhetischer Verarbeitung sind wie oben dargestellt bislang hauptsächlich anhand visueller Wahrnehmung untersucht worden.

Neben den limbischen und paralimbischen Arealen, die Korrelate des emotionalen Aspektes von Ästhetik sind, wurde BA10 als besondere Region of Interest (ROI) hinsichtlich ästhetisch-kognitiver Netzwerke detektiert.

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Suche nach neurologischen Korrelaten auditorischer Wahrnehmung, wobei hier das Musizieren als besondere Form der ästhetisch auditiven Verarbeitung in den Fokus genommen wird.

Viele Neurowissenschaftler bezeichnen das Musizieren als die kognitiv komplexeste Herausforderung des Menschen, heben hierbei das große Netzwerk heraus, das am aktiven wie passiven Musizieren beteiligt ist (Zatorre et al. 2007, Strait und Kraus 2013) und sehen das Gehirn eines Musikers als exzellentes Modell zur Untersuchung komplexer auditorischer Prozesse (Strait und Kraus 2013, Seither-Preisler et al. 2014).

Die kognitive Erfassung von Musik ist jedoch nicht nur ein Prozess der Verarbeitung akustischer Kriterien. Im Unterschied zur basalen auditiven Wahrnehmung beschreibt Edwin Gordon die Fähigkeit der „Audiation“ (Gordon 1986) als „[...] to hear and comprehend music for which the sound is not physically present“ (Gordon 1989, S.75; Süßerkrüb ohne Jahr) und führt weiter aus:

„Audiation means comprehension and internal realization of music, or the sensation of an individual hearing or feeling sound when it is not physically present. Audiation occurs when an individual is listening to, recalling, performing, interpreting, creating, improvising, reading, or writing music“ (Gordon 1986)

Norman Sieroka weist auf einen Dissens zwischen bewusst empfundener und physikalisch messbarer Zeit hin (Sieroka 2005, Sieroka 2009). Sieroka beschreibt diesen bewusst empfundenen Zustand als ausgedehnte, erlebte Gegenwart (Sieroka 2009) und verdeutlicht dies am Beispiel musikalischer Phrasen beziehungsweise Melodien, die als Ganzes im Moment zwar bewusst, jedoch niemals zu einem bestimmten Moment als Schalldruck messbar sind (Sieroka 2009).

Sieroka bezieht sich auf Edmund Husserl, der beim Hören die Phasen Retention (lebhaft/präsent sein der unmittelbaren Vergangenheit), Urimpression (augenblickliche Wahrnehmung) und Protention (Antizipation der unmittelbar erwarteten Zukunft) als die entscheidenden Akte der bewussten auditorischen Wahrnehmung nennt (Sieroka 2009).

Der Beschreibung des Hörprozesses als „Sinnesmodalität der Zeit“ (Sieroka 2009) von Sieroka, mit welcher er diversen Wissenschaftstraditionen folgt, kann diese Arbeit

jedoch aus folgendem Grund nicht zustimmen: Zur Verifizierung der These des Hörprozesses als „Sinnesmodalität der Zeit“ führt Sieroka an, dass die Grundparameter Rhythmus und Tonhöhe physikalisch reduzierbar auf Zeitfenster oder Periodizität, also zeitliche Aspekte, sind (Sieroka 2009).

Die Bedeutung zeitlicher Aspekte für die akustischen Parameter Tonhöhe, Metrum und Rhythmus ist zwar evident, doch schon hinsichtlich der Tonhöhe (Hackett et al.1998, Schneider et al. 2005) nicht eindeutig. Räumlich-spektrale Aspekte sind hier ebenso wirksam und entscheidend wie für weitere akustische Parameter, zum Beispiel Timbre und Lautstärke.

Im Folgenden werden der morphologische Aufbau des auditorischen Kortex sowie die für diese Arbeit bedeutenden auditorisch evozierten neurologischen Antworten und Netzwerke beschrieben.

1.6.2 Auditorischer Kortex

Der menschliche auditorische Kortex besteht ähnlich wie bei nicht menschlichen Primaten aus drei vielfach miteinander verbundenen Arealen (Hackett et al.1998, Blatow et al. submitted 2021):

- a. Core-Region, der primäre auditorische Kortex
- b. Belt-Region, der sekundäre auditorische Kortex
- c. Parabelt-Region, der tertiäre auditorische Kortex

Troy A. Hackett et al. weisen jedoch darauf hin, dass es keinen wissenschaftlichen Konsens über die tatsächliche funktionale Zugehörigkeit dieser Areale gibt (Hackett et al.1998, Nourski, 2017).

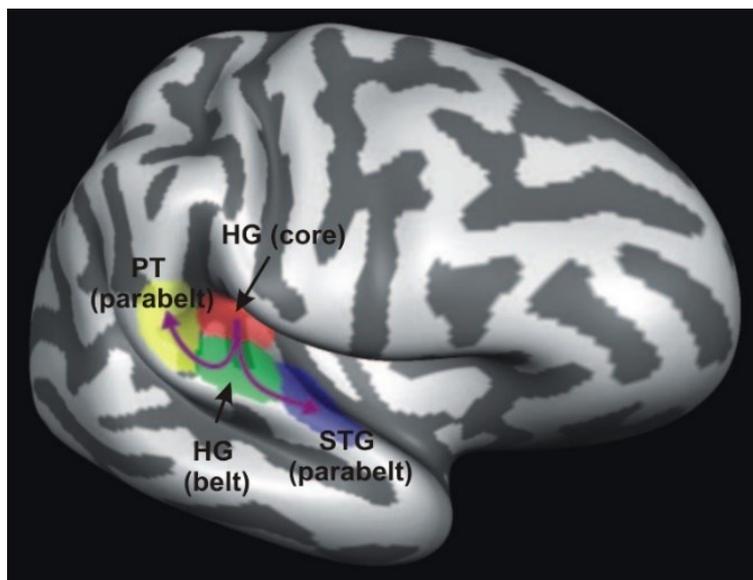


Abbildung 22 | Hierarchische Verarbeitung im auditorischen Kortex
(Adaptiert mit freundlicher Genehmigung aus: Blatow et al. sub. 2021)

Rot = Core, Grün = Belt, Blau/Gelb = Parabelt,
PT = Planum temporale HG = Heschl'sche Querwindungen, STG = superiorer temporaler Gyrus.

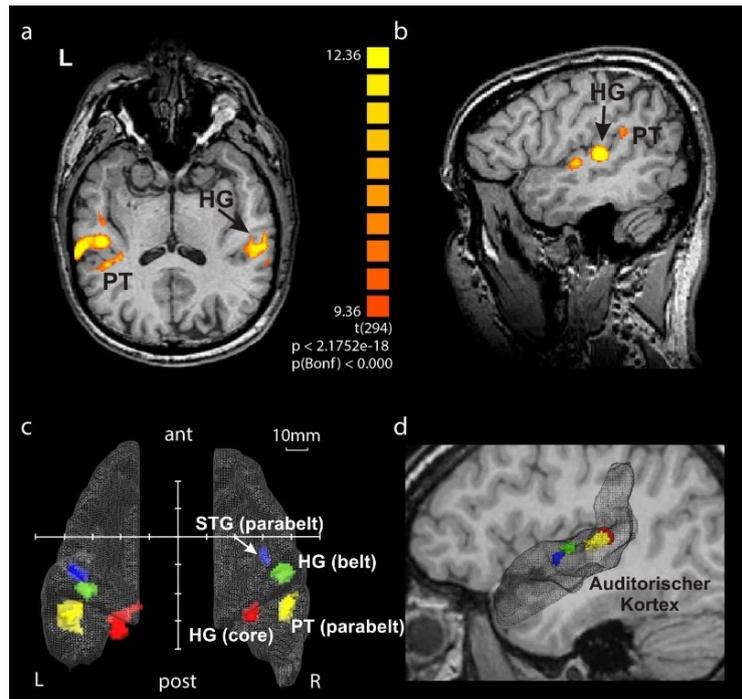


Abbildung 23 | Kennzeichnung der Verarbeitungsareale im auditorischen Kortex
(Adaptiert mit freundlicher Genehmigung aus: Blatow et al. sub. 2021)

a/c: axiale Schnittebene, Aufsicht von oben;

b/d: sagittale Schnittebene durch den linken auditorischen Kortex.

Rot = Core, Grün = Belt, Blau/Gelb = Parabelt

PT = Planum temporale, HG = Heschl'sche Querwindungen, STG = superiorer temporaler Gyrus.

1.6.3 Zeitliche und räumliche auditorische Verarbeitung im Gehirn

Im Gehirn gibt es eine Reihe neuronaler Antworten, deren Verlaufsmuster Korrelate unterschiedlicher Arten und Qualitäten geistiger Aktivitäten sind (Sieroka 2009).

Bezüglich des Hörens bildet sich im Magnetoenzephalographen (MEG) in der primären Hörrinde in einem Zeitfenster von 30 bis 70 ms bei Erwachsenen der primäre P1-Antwort-Komplex ab, bestehend aus einer mittellatenten P30-Antwort und einer nachfolgenden P50-Antwort. An der Schnittstelle zu den weiter lateral gelegenen sekundären auditorischen Arealen sowie im dahinter-gelegenen Planum temporale lokalisiert der Schwerpunkt der etwa 100 ms nach Ton-beginn auftretende prominente N1-Komplex (Blatow et al. submitted 2021).

In den an den Heschl Gyrus angrenzenden Parabelt-Arealen folgt als dritte Antwort im anterior gelegenen supratemporalen Gyrus sowie im posterior gelegenen Planum temporale der P2-Komplex.

Bei musikalisch erfahrenen Menschen ist sowohl der P1-, der N1- als auch der P2-Komplex in der Regel stark synchronisiert (Schneider et al. in submission).

1. Einleitung

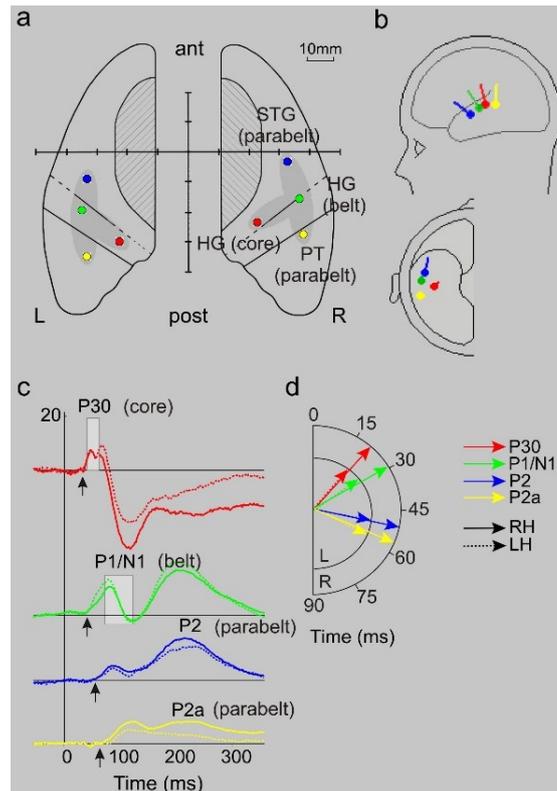


Abbildung 24 | Auditorisch-evozierte Antwortmuster innerhalb der Subareale des auditorischen Kortex (Adaptiert mit freundlicher Genehmigung aus: Blatow et al. sub. 2021.)

a. schematischer Aufblick auf den auditorischen Kortex mit Kennzeichnung der medio-lateralen und der anterior-posterioren Achse; b. Modellierung der auditorisch-evozierten Antworten mit jeweils einer linearen Dipolquelle pro Hemisphäre; c. zeitlicher Verlauf der gemessenen Aktivierung innerhalb der Core-, Belt-, Parabelt-Areale; d. Darstellung der mittleren Latenz des Beginns (Onset) der jeweiligen Aktivierungsmuster.

Der mediale Heschl'sche Gyrus ist vermutlich in basale auditorische Verarbeitung involviert, während der laterale Heschl'sche Gyrus und der posteriore supratemporale Gyrus an der Verarbeitung komplexerer Parameter wie Tonhöhe und Rhythmus, aber auch an deren Kombination – der Melodie – beteiligt sind (Blatow et al. submitted 2021).

Entsprechend bildet der P1-Komplex elementare auditorische Verarbeitungsstufen ab (zum Beispiel Lautstärke, Frequenz, Tonlänge), der N1-Komplex aufmerksamkeitsbezogene Prozesse, die anteriore P2-Antwort die allgemeine musikalische Expertise, während die posteriore P2 spezielle auditorische Fähigkeiten wie zum Beispiel das Absolut-Hören repräsentiert (Wengenroth 2014, Benner et al. 2017, Schneider et al. in submission).

1.6.4 Netzwerke auditorischer Verarbeitung

Ventraler und dorsaler Pfad (What- und Where-Stream)

Analog des bei der visuellen neuronalen Verarbeitung nachgewiesenen ventralen und dorsalen Pfades (auch als What- und Where-Stream bezeichnet) (Milner und Goodale 2008) wird die räumliche Verarbeitung im dorsalen und die Dekodierung komplexerer Parameter (Bedeutungsgebung) im ventralen Pfad angenommen (Rauschecker 2005; Kandel et al. 2013, S.704-705).

1. Einleitung

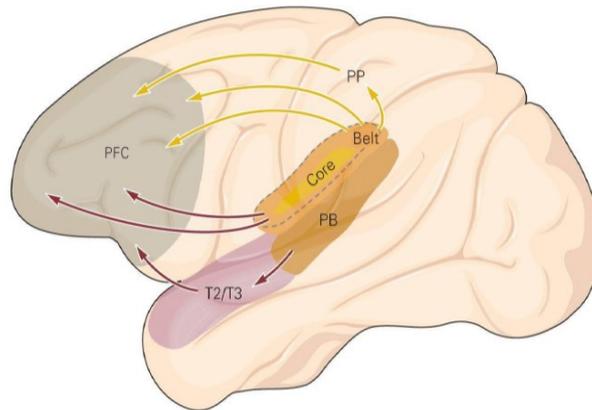


Abbildung 25 | Ventraler und dorsaler Pfad (What- und Where-Stream)
(aus: Kandel et al. 2013, S.704; mit freundlicher Genehmigung von: McGraw Hill LLC)
PFC = Präfrontalkortex, PP = Posteriorer Parietalkortex, PB = Parabelt, T2/T3 = Areale des Temporalkortex

Audio-motorisches Netzwerk

Auf ein weiteres prominentes Netzwerk, einer intensiven Interaktion zwischen auditorischem und motorischem Kortex, weisen bereits verschiedene Arbeiten hin (Zatorre et al. 2007).

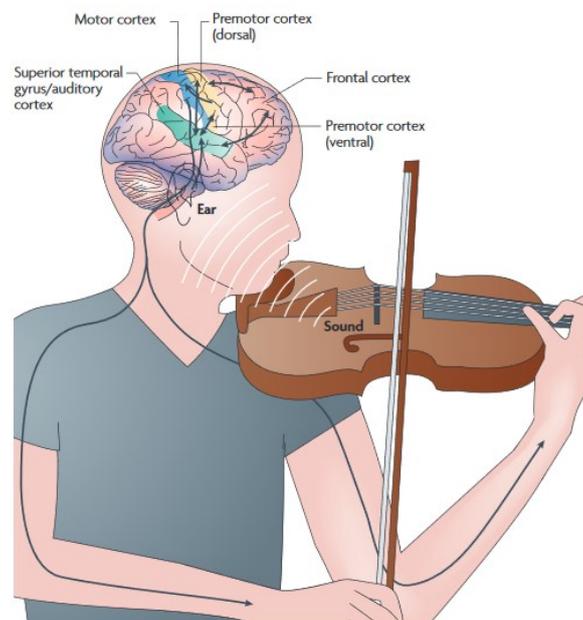


Abbildung 26 | Auditorisch-motorisches Netzwerk
(aus: Zatorre et al. 2007, mit freundlicher Genehmigung von: Springer Nature; Lizenznummer: 4991230568214)

Verbindungen mit dem Working Memory

Im Allgemeinen wird weiter ein erheblich besseres Working Memory bei Musikern festgestellt (Hodges 2013).

Auditorische Wahrnehmung und emotionale Verarbeitung

Ebenso wie bei der visuellen gibt es auch bei der auditorischen Verarbeitung direkte und indirekte Verbindungen zu den emotionalen Verarbeitungsarealen (Kraus und Nicol

2005, Wong 2007, Kraus und Chandrasekaran 2010, Kraus und Anderson 2014, Kraus et al 2017).

1.6.4.1 Integratives Modell auditorischer Verarbeitung

Henning Scheich et al. zeigen Top-Down und Bottom-Up-Prozesse zwischen motorischen, sensorischen, multimodalen und kognitiven Arealen in Abhängigkeit der Verarbeitungsstufen Detektion, Diskrimination und Kategorisierung und beschreiben den sensorischen Kortex als Analysator für sensorische Informationen (Scheich et al. 2011). Diese Verarbeitungsstufen werden in Zusammenhang mit Komplexitätsstufen und Lernprozessen gesehen (Scheich et al. 2011).

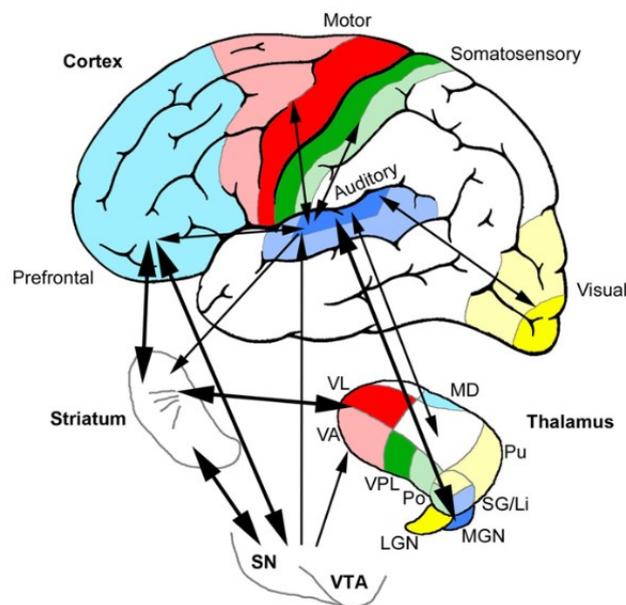


Abbildung 27 | Heuristisches Schema des Informationsflusses für den „semantic processor“

(aus: Scheich et al. 2011, mit freundlicher Genehmigung von: Elsevier; Lizenznummer: 4991210776934).

VL = ventral lateral, VA = ventral anterior, VPL = Ventral postero-lateral, Po = posterior, LGN = Corpus geniculatum laterale, MGN = Corpus geniculatum mediale, SG/LI = suprageniculate-limitsans, Pu = Pulvinar, MD = mediodorsal, SN = Substantia nigra, VTA = ventral tegmentales Areal.

Im Vergleich des menschlichen auditorischen Verarbeitungsnetzwerkes mit dem des Affen sieht Rauschecker zwar feinere Verarbeitungsmöglichkeiten im menschlichen auditorischen Kortex, nimmt jedoch präfrontale Strukturen als entscheidenden Unterschied der menschlichen und tierischen auditorischen Wahrnehmungsprozesse an (Rauschecker 2012).

Elvira Brattico und Marcus Pearce beschreiben den gesamten Prozess ästhetischer Erfahrung in Bezug auf die Kunstform Musik folgendermaßen:

„We define an aesthetic experience of music as one in which the individual immerse herself in the music, dedicating her attention to perceptual, cognitive and affective interpretation based on the formal properties of the perceptual experience.“

(Brattico und Pearce 2013)

Mit Blick auf die musikalisch-ästhetische Wahrnehmung liegt der Schwerpunkt des Forschungsinteresses wie oben beschrieben auf Studien zu musikalischen Para-

metern wie Tonhöhe, Rhythmus oder Klangfarbe, der emotionalen Verarbeitung von Musik, der Erforschung der musikalischen Wahrnehmung bei krankheitsbedingten Beeinträchtigungen, Effekten des musikalischen Trainings (Tirovolas und Levintin 2011) und der audio-motorischen Schleife.

1.6.5 Strukturelle und funktionelle Plastizität der Hörverarbeitung

Dem auditorischen Kortex gilt schon seit geraumer Zeit die Aufmerksamkeit der Neurowissenschaftler. Die Forschungsgruppe „Musik und Gehirn“ in der neurologischen Klinik an der Universität in Heidelberg (Leitung: PD Dr. Peter Schneider)⁴ untersucht unter anderem die reife- und lernbedingte Entwicklung musikalischer Hörfähigkeit, strukturelle und funktionelle Plastizität der Hörverarbeitung und neurologische Besonderheiten bei intensiv musizierenden Kindern (Benner und Schneider 2019).

Anhand der Verlaufsergebnisse der Messung auditorisch evozierter Felder sieht man bei musikalisch aktiven Personen zum einen eine größere links-/rechtshemisphärische Synchronisation, zum anderen eine reifebedingte Zunahme der Amplitude der P2-Antwort (komplexere Verarbeitungsebene in Vergleich zur P1-Antwort, die elementare Aspekte der Klangwahrnehmung wie Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe abbildet) (Seither-Preisler et al. 2014, Benner et al. 2017, Schneider et. al in submission).

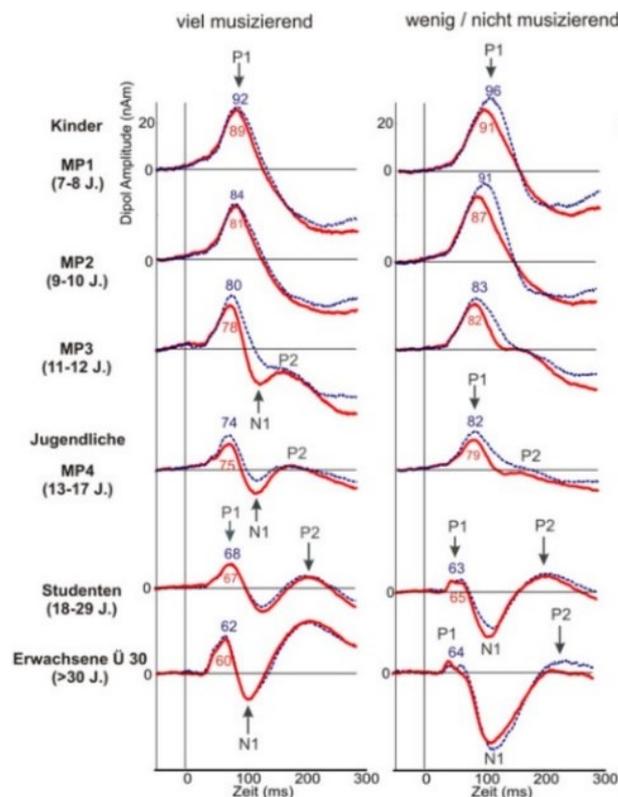


Abbildung 28 | Auditorisch evozierte Felder beim Hören von harmonisch komplexen Klängen im Verlauf vom Kindesalter bis zum Erwachsenenalter (Mittelwert von jeweils ca. 40-70 Probanden).

(aus: Schneider et al. in submission, mit freundlicher Genehmigung von PD Dr. Peter Schneider).

Die linken Abbildungen zeigen auditorisch evozierte Felder der Viel-Musizierenden, die rechten Abbildungen die der Wenig-Musizierenden, die rote Kurve zeigt den rechtshemisphärischen, die blaue den linkshemisphärischen Verlauf. Die Zahlenwerte kennzeichnen die Latenzen des P1, N1 und P2-Antwort-Komplexes in ms.

⁴ <http://www.musicandbrain.de/startseite.html>, [10.02.2021].

Schneider geht mittels groß angelegter Längsschnittstudien (siehe Kapitel 2 *Material und Methoden*) auch der Frage nach trainings- und anlagebedingten Faktoren musikalischer Expertise nach und schlägt hierzu sein neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell vor (siehe *Abbildung 29*).

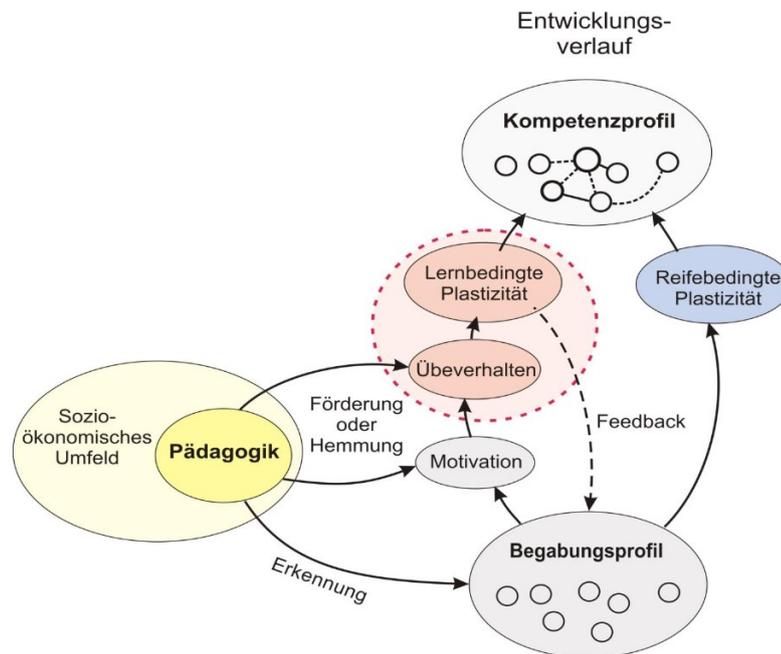


Abbildung 29 | Neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell von Annemarie Seither-Preisler et al. (2014) (Mit freundlicher Genehmigung von Annemarie Seither-Preisler und Peter Schneider).

Im Wesentlichen folgt das Modell dem geläufigen aktuellen Diskurs zu musikalischer Expertise (Gembris 2002, S.172 ff.; Gembris 2014, S.189; Hohmann 2014, S.239; Strait 2014).

1.7 Fragestellung

An die oben beschriebenen Ergebnisse knüpft der experimentelle Teil dieser Arbeit an. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der höheren kognitiven Verarbeitung musikalisch-ästhetischer Wahrnehmung, wie diese sowohl philosophisch als auch neurowissenschaftlich (siehe Kapitel 1.1 *Ästhetik* und Kapitel 1.3 *Neuroästhetik*) diskutiert wird.

Der experimentelle Teil der Arbeit wird unter folgender Fragestellung bearbeitet:

Wie unterscheiden sich neurophysiologische Koaktivierungen auditorischer Verarbeitungsmuster im Präfrontalkortex im Zusammenhang mit musikalisch-ästhetischer Wahrnehmung bei Probanden, die viel beziehungsweise wenig musizieren?

Das bereits von der Forschungsgruppe „Musik und Gehirn“ erarbeitete MEG-Modell wurde zu einem 6-Dipol-Modell mit Einbeziehung des bereits beschriebenen (und für die höhere kognitive Verarbeitung relevanten) BA10 erweitert, um die – sich durch Reife- und Lernprozesse verändernden – Netzwerke darzustellen.

1. Einleitung

Als ROI des BA10 wurde hier bilateral die Mitte dieses Areals mit den Koordinaten $\pm 20/+50/10$ verwendet.

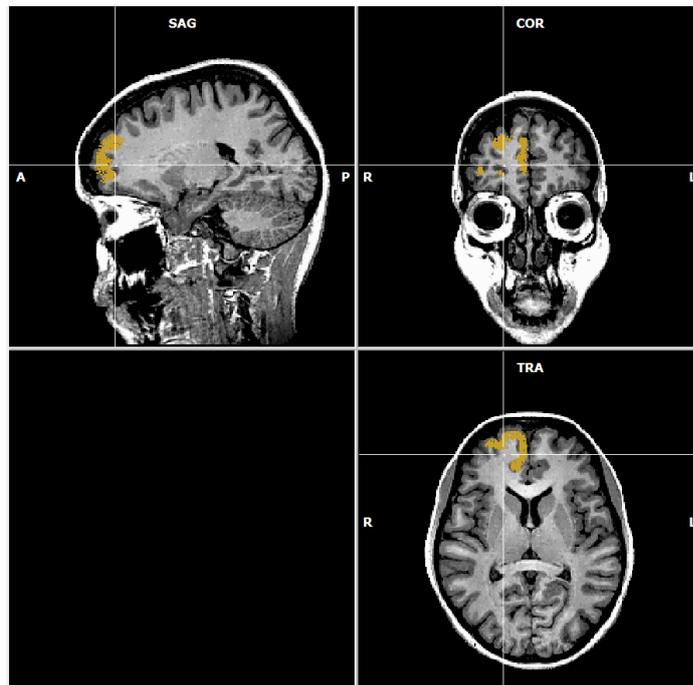


Abbildung 30 | Kennzeichnung der grauen Substanz des BA10-Areals als Region of Interest (ROI) (BrainVoyager Brain-Tutor). Die in der Arbeit verwendeten geseedeten Koordinaten $\pm 20/50/10$ entsprechen dem Schwerpunkt des ROI.

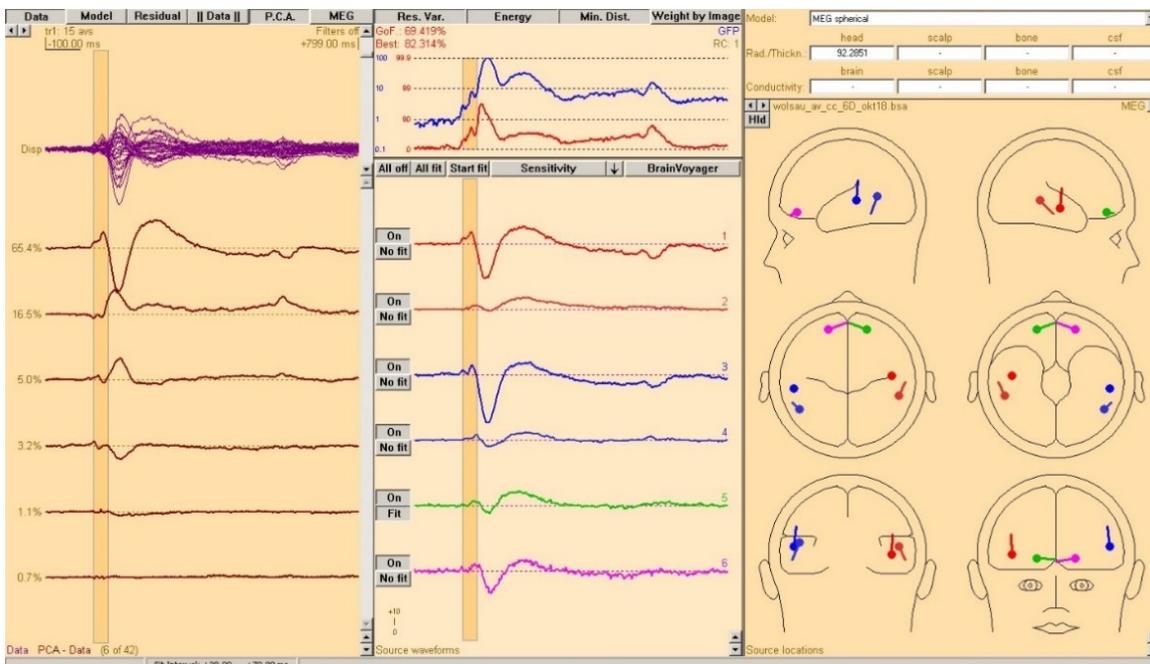


Abbildung 31 | MEG-6-Dipol-Modell

Modellierung der beim Hören von Klängen evozierten Gehirnantworten mit jeweils 3 äquivalenten Dipolen pro Hemisphäre (6-Dipol-Modell: freigeftete Aktivierung im HG, geseedete Aktivierung im PT sowie BA10).

Dem Fokus dieser Arbeit folgend, werden der P1-Antwortkomplex (als Korrelat elementarer auditorischer Verarbeitung), die anteriore P2-Antwort (als Korrelat der musikalischen Expertise), der oben beschriebene Teil des BA10 (als Korrelat kognitiv-

ästhetischer Verarbeitungsprozesse) sowie die Ergebnisse hörakustischer Messungen⁵ als relevante Variablen im Folgenden untersucht.

1.8 Hypothesen

1.8.1 Haupthypothese:

Hinsichtlich der auditorisch-ästhetischen Wahrnehmung lassen sich Korrelationen zwischen Reife und musikalischer Expertise sowie der Größe und des Zeitpunkts der Koaktivierung im BA10 feststellen.

1.8.2 Nebenhypothesen:

1.8.2.1 Die stärkere Aktivierung in BA10 korreliert mit der Amplitude der auditorisch evozierten anterioren P2-Antwort.

1.8.2.2 Die im BA10 generierte Koaktivierung ist bei Musikern mit der primären P1-Antwort synchronisiert.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsdesign

Bei der hier vorgelegten Arbeit handelt es sich um eine prospektive experimentelle Studie. Die Untersuchung erfolgte auf Basis der Daten der Arbeitsgruppe „Musik und Gehirn“ an der Neuroradiologie der Neurologischen Klinik der Universität Heidelberg (Leitung: PD Dr. Peter Schneider).

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen verschiedener im Folgenden aufgeführten Studien:

- 2009 und 2015 im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts „AMseL: Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens“ (in Kooperation mit der Universität Graz)
- 2012 und 2015 im Rahmen des DFG Lead Agency Verbundprojekts „Auditory plasticity of the adult musical brain“ (in Kooperation mit der Universität Basel)
- 2016 und 2019 im Rahmen des Heisenberg Forschungsschwerpunktes „Klangwahrnehmung zwischen außergewöhnlicher Musikalität und Defiziten in der auditorischen Verarbeitung: Neuronale Grundlagen individueller Veranlagung, entwicklungsbedingter Reifung und lernbedingter Plastizität in der Lebenszeitperspektive“ von PD Dr. Schneider

Alle Studien wurden von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg genehmigt. Die Genehmigungsnummern lauten:

- Genehmigungsnummer: S-475/2007, aktualisiert am 5.Juli 2010

⁵ Siehe Kapitel 2 *Materialien und Methoden*

- Genehmigungsnummer: S-616/2015 – für wenig/viel musizierende Kinder und Jugendliche
- Genehmigungsnummer: S-778/2018 – für wenig/viel musizierende Erwachsene

An der Hälfte der Untersuchungen habe ich seit 2014 selbst mitgewirkt. Dies umfasst Rekrutierung, Organisation, Vorbereitung und Durchführung der Probanden zu Messungen sowie die Aufzeichnung der Daten im Forschungs-Team. Die Auswertung der erhobenen MEG-Daten habe ich unter Anleitung des Projektleiters PD Dr. Schneider mit einem hierfür designten 6-Dipol-Modell mit Quellenwellenformen in den Gyri temporales transversi (Heschl’s Querwindungen) und dem Planum temporale sowie einer Koaktivierung in BA10 mit Hilfe des Programms „BESA“ selbständig durchgeführt.

Zur Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs wurde G*Power herangezogen (Erdfelder et al. 2004). Auf der Grundlage des bewährten Richtwertes $n = 19$ (minimale Effektgröße: $d = 1.0$; statistische Power: 0.95; $\alpha = 0.05$) aus den Vorarbeiten von PD Dr. Schneider (Schneider 2002, Schneider 2005, Schneider 2009) wurde eine Stichprobe von 18-20 Datensätzen pro Gruppe erhoben.

2.2 Stichprobe

Die Stichprobe wurde aus dem Datenpool der Arbeitsgruppe „Musik und Gehirn“ generiert. Datensätze von Probanden unterschiedlichen Alters à 38-42 Probanden wurden jeweils hälftig in eine Gruppe viel Musizierender und eine Gruppe nicht beziehungsweise wenig Musizierender zugeordnet:

- Grundschulalter (7-11 Jahre)
- Pubertätsphase (12-17 Jahre)
- Junge Erwachsene (18-29 Jahre)
- Erwachsene mittleren Alters (30-67 Jahre)

Bezüglich des Geschlechts und der Händigkeit ergab sich folgende Verteilung:

Tabelle 2 | Beschreibung der Stichprobe

Altersgruppe	Geschlecht		Händigkeit		Musikerstatus		Gesamt
	männlich	weiblich	rechts	links	aktiv	nicht aktiv	
Grundschulalter	21	17	34	4	18	20	38
Pubertätsalter	20	19	34	5	20	19	39
Junge Erwachsene	20	23	39	4	19	24	43
Erwachsene mittleren Alters	21	21	37	5	23	19	42

Die Stichprobe beinhaltet einen repräsentativen Querschnitt wenig und viel musizierender Personen aus dem deutschsprachigen Raum ohne neurologische

Auffälligkeiten und ohne lern- beziehungsweise entwicklungsbedingte Beeinträchtigungen.

Personen mit festinstallierten ferromagnetischen Stoffen (wie zum Beispiel feste Zahnschienen oder Herzschrittmacher) mussten aufgrund der MEG-Unverträglichkeit ausgeschlossen werden.

Sämtliche Probanden nahmen freiwillig an den Untersuchungen teil und wurden schriftlich und mündlich über den Ablauf und die Risiken aufgeklärt. Ebenso wurden die Probanden auf ihr Recht auf Abbruch der Untersuchungen hingewiesen. Alle getesteten Personen gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an den Untersuchungen (bei Teilnehmerinnen und Teilnehmern unter 18 Jahren wurde das Einverständnis eines Erziehungsberechtigten eingeholt).

2.3 Untersuchungsmethoden

2.3.1 MEG-Messung

2.3.1.1 Methodik der Messung auditorisch evozierter Felder (AEF) mittels MEG und Quellenanalyse

Beschreibung des experimentellen Designs

Die MEG-Messungen wurden im Untergeschoss der Kopfklinik des Universitätsklinikums Heidelberg mit einem Neuromag-122 Ganzkopf-Magnetenzecephalographie-System (Neuromag, Helsinki Finnland) in einem dafür eingerichteten magnetisch abgeschirmten Raum durchgeführt. Das MEG-System verfügt über 61 planare Gradiometer mit je zwei orthogonal zueinander angeordneten Doppelachtschichten (Scherg 1997, S.1-3). Die Messungen wurden mit einer Abtastfrequenz von 1000 Hz und einem Tiefpassfilter von 0-330 Hz durchgeführt.

Vor der Messung wurden am Kopf des Probanden vier Referenzcoils (links und rechts an den Schläfen sowie am linken und rechten Mastoid) mit hautfreundlichen Klebebändern angebracht. Mit einem elektronischen Digitalisierungsstift und einem Sensor an der Stirn wurden zunächst drei Punkte der Kopfoberfläche abgetastet, welche das Kopfkoordinatensystem definieren (Nasion, rechter und linker präaurikulärer Punkt). Darüber hinaus wurden 32 weitere Punkte an der Kopfoberfläche digitalisiert, um innerhalb dieser Studie im Einzelfall auch eine Koregistrierung mit MRT-Daten zu ermöglichen. Die Positionsspulen wurden ebenfalls eingemessen und ihre Lage relativ zum MEG-Dewar bestimmt.

Zur 20-minütigen Messung wurden die Probanden in die MEG-Kammer geführt, dort unter die MEG-Haube gesetzt und gebeten, eine möglichst entspannte Haltung einzunehmen. Auf die Notwendigkeit, den Kopf ruhig zu halten, wurde hingewiesen.

Die Messung erfolgte ohne spezifische intellektuelle Aufgabenstellung; auf Wunsch konnten die Probanden während der Messung einen Film ohne Audiowiedergabe ansehen. Zur auditiven Stimulation wurden zwölf verschiedene, pseudorandomisiert abgespielte Instrumentalklänge (Flöte, Trompete, Violinpizzicato, Bassklarinette, Gitarre, Klavier, und Pauke) sowie vier synthetisch generierte harmonisch komplexe Töne verwendet. Die Tondauer betrug 500 ms, das Interstimulusintervall (ISI) wurde

mit einer pseudorandomisierten Dauer zwischen 400 und 500 ms abgespielt, um den Einfluss von oszillierenden Störgeräuschen (zum Beispiel anteiliges hintergründiges Netzbrummen oder zufällig eingestreute Maschinengeräusche aus der Klinik) bei der Datenmittelung zu unterbinden. Die Lautstärke der Signale wurde in Absprache mit dem Probanden mit einem für individuell angenehmen empfundenen Lautstärkepegel zwischen etwa 65 und 75 dB SPL eingestellt. Zur Absenkung des Signal-Rausch-Verhältnisses wurde eine Wiederholungsrate von 100 pro Stimulus gewählt, das heißt in den 20 Minuten der Messung wurden den Probanden insgesamt 1500 Töne vorgespielt.

Datenanalyse

Mittels der Software BESA-Research 6.0 wurde an den Rohdaten eine Artefaktkorrektur (automatischer Ausschluss der 10-15% verrauschtesten Kanäle und Epochen) durchgeführt. Artefakte können aufgrund von Bewegungen des Probanden (zum Beispiel durch Bewegung des Körpers beim Sitzen, Muskelanspannungen, Lidschlag, Herzschlag oder Puls) verursacht werden. Diese Artefakte wurden bis zu einem gewissen Grad geduldet, ab einem individuell festgelegten Schwellenwert aber ausgeschlossen, um die Datenqualität der aufgezeichneten Gehirnströme zu optimieren.

Anschließend erfolgte eine Berechnung der gemittelten Kanalwellenformen pro Stimulus und darüber hinaus die Bestimmung eines Mittelwerts über alle Stimuli (Grand average von $n = 1100$ abzüglich ausgeschlossener Reize).

Die Modellierung der Quellenaktivität im auditorischen Kortex und im Präfrontalkortex (BA10) erfolgte mittels dreier Dipole pro Hemisphäre:

- Die erste Quelle modelliert die Aktivität im primären Hörkortex und wird dazu im Zeitfenster der primären P1-Antwort zwischen ungefähr 50-100 ms bis zur Anstiegsflanke der sekundären N1-Antwort frei gefittet. Zur Erhöhung der Stabilität des freien Fits wird in beiden Hemisphären eine regionale Quelle verwendet, das heißt zwei zueinander orthogonale (senkrecht aufeinander stehende) Dipole am selben Ort. Nach der Lokalisierung der primären Quellaktivität wird mit den beiden Komponenten der regionalen Quelle eine Hauptachsentransformation zur Identifizierung der Hauptkomponente durchgeführt (Orientierungs-Fit).
- Als zweite posteriore Quelle wird, dem Verlauf der Sylvischen Fissur folgend, jeweils ein Dipol hinter der primären Quelle im Planum temporale (PT) geseedet (das heißt entsprechend der Kenntnis der anatomischen Lage des PT hineingesetzt) und an diesem Ort die Orientierung ihrer Aktivität im Zeitfenster der sekundären auditorischen Antwort (N1- und P2-Antwort, 100-250 ms nach Tonbeginn) gefittet (kombinierte Fit-Seeding-Technik).
- Zur Modellierung der Koaktivierung im Frontalkortex wird eine dritte Quelle in den Bereich des BA10 mit den normierten Koordinaten ($X = +/- 20$; $Y = 50$; $Z = 0$; Talairach) geseedet. Die Orientierung wird abschließend im Zeitfenster der primären und sekundären auditorischen Verarbeitung (50 bis 250 ms) gefittet.

Die individuellen Quellenwellenformen wurden im ASCII-Format gespeichert und zur Gruppenanalyse mit MATLAB eingelesen.

Zur statistischen Analyse werden die individuellen Latenzen und Amplituden aller relevanten Antworten (P1, N1, P2, BA10) protokolliert.

2.3.2 MRT-Messung

In Kooperation mit der Abteilung Neuroradiologie des Universitätsklinikums Heidelberg wurde mit jedem Probanden eine strukturelle MRT-Messung am Forschungsscanner TrioTim 3T erhoben (MPRAGE T1-Gewichtung, 176 sagittale Schichten, ISO-Voxel Size 1x1x1 mm, field of view (FOV) 256x256). Die Probanden wurden entsprechend der Vorgaben der Ethik-Kommission über den Nutzen und die Risiken der Messung aufgeklärt. Metallteile am Körper (Pearcings, Haarspangen, etc.) mussten zur Messung abgelegt und farbige Anteile von Tätowierungen mit einem feuchten Tuch abgedeckt werden. Zur Lokalisierung der im MEG berechneten Quellaktivitäten wurden die Ergebnisse der Koregistrierung von MRT- und MEG-Daten früherer Arbeiten (Schneider 2005, 2009, Wengenroth 2014, Seither-Preisler 2014) verwendet. Exemplarisch wurde die funktionelle Aktivierung des Gehirns eines Probanden mittels fMRT beim Hören von Klängen dargestellt. Die Auswertung der (f)MRT-Daten erfolgte mit der Software BrainVoyager QX 2.8 (Brain Innovation, Prof. R. Goebel, Maastricht).

2.3.3 Hörakustische Messungen und Fragebogenerhebung

Ein behavioraler Test bezüglich auditiven-ästhetischen Urteilens ist bislang leider nicht verfügbar. Ästhetische Kompetenz wird aus diesem Grund aus den Parametern musikalischen Handelns abgeleitet.

Die Einteilung der Probanden in die Gruppe der Viel- beziehungsweise Wenig-Musizierenden erfolgte anhand der Ermittlung eines von der Forschungsgruppe verwendeten kumulativen Musizierindex der musikalischen Praxis.

Der kumulative Index der musikalischen Praxis ($I_{MP_{kum}}$) errechnet sich aus der Summe der Anzahl der Jahre der Musizierpraxis und der tatsächlichen Stundenanzahl, die der Proband pro Woche musiziert hat anhand der Formel: $I_{MP_{kum}} = \sum_p y_p h_p + \sum_j y_j h_j$ (Seither-Preisler et al. 2014).

In Seither-Preisler et al. 2014 wurde für Grundschul Kinder (mittleres Alter = 9 Jahre) anhand der Verteilung des I_{MP} ein Cut-Off-Wert ($I_{MP_{kum}} = 2,5$ Stunden pro Woche x Jahre) bestimmt, der die viel- beziehungsweise wenig musizierenden Probanden separiert.

Für die beiden ersten Gruppen dieser Arbeit (Kinder und Jugendliche) wurde die Einteilung entsprechend vorgenommen ($I_{MP_{kum}} = 2,5$ Stunden pro Woche x Jahre im Alter von 9 Jahren), für die Jugendlichen wurde dieser Wert aus der AMseL-Studie übernommen.

Die Probanden der dritten und vierten Gruppe (junge und ältere Erwachsene) wurden anhand eines Cut-Off-Wertes von $I_{MP_{kum}} = 50$ (junge Erwachsene) beziehungsweise 100 (ältere Erwachsene) in musikalisch Aktive beziehungsweise musikalisch Nicht-Aktive eingeteilt.

Der aktuelle Index der musikalischen Praxis (I_{MPact}) errechnet sich aus der mittleren wöchentlichen Musizierpraxis der letzten zwei Jahre.

Zusätzlich zu diesem Musizierindex wurden über Fragebögen weitere behaviorale Informationen wie zum Beispiel zur Instrumentenwahl sowie zu eventuellen professionellen Musikerkarrieren erhoben.

Mittels Edwin Gordons Advanced Measure of Music Audiation (AMMA) (für Teilnehmer über 10 Jahren) beziehungsweise dem Intermediate Measures of Music Audiation (IMMA) (für Teilnehmer von 6 bis 9 Jahren) wurden Tests der musikalischen Begabung gewählt, die eine hohe Korrelation zu musikalischen Leistungen aufweisen (Gordon 1997, S.111-115).

Während dieser Tests bekommen die Probanden Aufnahmen von sieben bis zehn Sekunden langen Melodiepaaren vorgespielt. Sie müssen anschließend entscheiden, ob die Melodiepaare gleich sind oder sich tonal beziehungsweise rhythmisch unterscheiden. In der Auswertung erhält man im Anschluss einen separaten Wert für die tonale und rhythmische Leistung sowie einen Gesamtergebniswert.

Aufgrund der Vergleichbarkeit der Ergebnisse des AMMA/IMMA-Tests mit den verschiedenen Altersgruppen wurde aus den Rohwerten ein altersabhängiger Score-Wert berechnet.

Ein größerer Begabungs- als Trainingsfaktor wird wegen der hohen Stabilität der Testergebnisse auch nach längeren Zeiträumen bezüglich der AMMA und IMMA-Tests angenommen (Gordon 1998, S.111; Sieroka 2005).

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Analyse beinhaltet folgende Analysen:

Zuerst wurden die Daten auf ihre Normalverteilung geprüft, um die passenden Verfahren auszuwählen. Da hauptsächlich Gruppenvergleiche für die Analyse herangezogen wurden, wurde ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt, gefolgt von Mann-Whitney-U-Tests. Die Gruppenanalysen wurden einer Bonferroni-Holm-Korrektur unterzogen. In der Folge wurden zusätzlich Diskriminanzanalysen durchgeführt, um die Gruppenzugehörigkeit aufgrund der untersuchten Merkmale zu bestimmen.

Die Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics 26.

3. Ergebnisse

Die erhobenen Daten wurden mittels Shapiro-Wilk-Test und Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Da aufgrund beider Tests keine Normalverteilung angenommen werden kann, wurde im Folgenden ein non-parametrisches Verfahren angewendet. Tabellen zur Untersuchung auf Normalverteilung befinden sich im *Anhang 1*.

Zwischen weiblichen und männlichen Probanden wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt, die Tabellen hierzu finden sich im *Anhang 2*.

Eine deskriptive Statistik aller Variablen mit Mittelwert, Standardfehler des Mittelwertes, Median, Standardabweichung, Minimum und Maximum aller untersuchten 19 Variablen befindet sich im *Anhang 3*.

3.1 Lokalisation der kortikalen ROIs mittels fMRT

Die Untersuchungen der strukturellen MRT-Messungen der Probanden wurden wie oben beschrieben exemplarisch ausgewertet. Sie werden zur Verdeutlichung der temporalen Verarbeitung und der Lokalisation der auditorischen Verarbeitung sowie der Koaktivierung im BA10 an dieser Stelle beschrieben. Aufgrund des exemplarischen Vorgehens sind diese Ergebnisse in dieser Arbeit jedoch statistisch nicht erfasst.

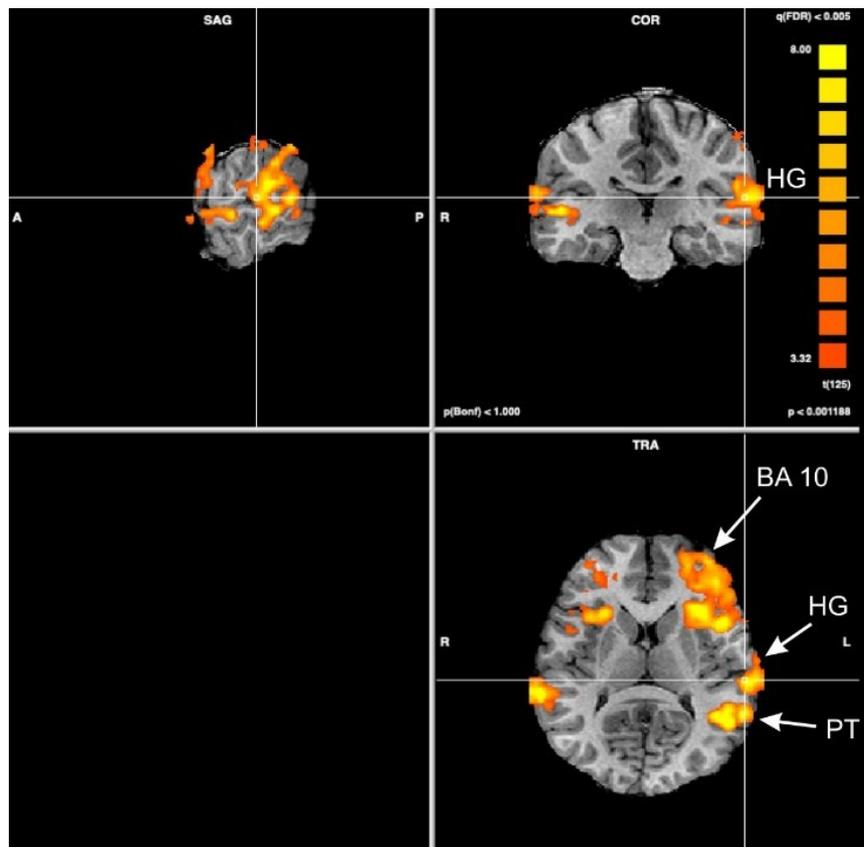


Abbildung 32 | Messung der fMRT-Aktivierung eines 9-jährigen viel musizierenden Jungen beim Hören von Klängen. Die Netzwerkaktivierung im Hörkortex (HG und PT) sowie im Präfrontalkortex (BA10) sind hier besonders in der linken Hemisphäre deutlich zu erkennen.

SAG = Sagittalebene, COR = Koronalebene, TRA = Traversalebene, PT = Planum temporale; HG = Heschl'sche Querwindungen.

3.2 Gruppenvalidität

Signifikante Gruppenunterschiede aller erhobenen Variablen wurden anhand von Vergleichen folgender Gruppen bestimmt:

1. Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende, unabhängig vom Alter⁶ (Zwei-Gruppenvergleich)
2. Altersgruppen der Kinder, Jugendlichen, jungen Erwachsenen und älteren Erwachsenen⁷ (Vier-Gruppenvergleich)
3. Probanden, unterteilt in acht Gruppen nach Lebensphase (siehe Gruppenvergleich 2) und musikalischer Aktivität (siehe Gruppenvergleich 1) (Acht-Gruppenvergleich)

Das Detektieren signifikanter Unterschiede im Zwei-Gruppenvergleich (siehe 1.) erfolgte mit dem Mann-Whitney-U-Test, die Gruppenvergleiche unter 2. (vier Altersgruppen) und 3. (acht heterogene Alters-/Aktivitätsgruppen) mittels Kruskal-Wallis-Test, wobei die in den Vier- und Acht-Gruppenvergleichen beinhalteten Zwei-Gruppenvergleiche ebenfalls mit dem Mann-Whitney-U-Test vorgenommen wurden. Die Signifikanzen aller Mann-Whitney-U-Tests wurden mittels Bonferroni-Holm-Korrektur zum Neutralisieren der Alphafehler-Kumulierung überprüft.

Mittels Diskriminanzanalyse (Wilks-Lambda-Test) wurde überprüft, ob sich die Probanden auf die Gruppen rückzuordnen lassen und abschließend ein Ranking der signifikanten Variablen erstellt. Dies wurde als besonders wichtig erachtet, da für die Festlegung der Altersgruppen keine genormten Grundlagen existieren.

Die Tabellen der Gruppenvergleiche inklusive Diskriminanzanalyse befinden sich im *Anhang 4*.

Die Deskriptive Statistik beinhaltet Probandenanzahl (N), Mittelwert, Standardabweichung, Median, Standardfehler, Minimum und Maximum. Das Signifikanzniveau wurde mit $p = 0,05$ (*) ($0,01 =$ hochsignifikant (**)) festgelegt.

Beim Zwei-Gruppenvergleich unabhängig vom Alter konnte eine deutliche Gruppenzugehörigkeit (Warner 2013) von 87% vorhergesagt werden. Als besonders signifikante Variable (Cut-Off-Wert = 0,5) zeigten sich der Differenzwert der Latenzen von P1- und BA10-Antwort beidseitig sowie die Latenzen der orbitofrontalen Antworten.

Beim Acht-Gruppenvergleich konnte in der Gruppe der Kinder eine Gruppenzugehörigkeit von 73,70%, bei den Jugendlichen eine Gruppenzugehörigkeit von 77,50%, bei den jungen Erwachsenen eine Gruppenzugehörigkeit von 95,20% und bei den älteren Erwachsenen eine Gruppenzugehörigkeit von 92,90% vorhergesagt werden. Zur Gruppe der älteren Erwachsenen konnten hinsichtlich der Klassifizierung stabile Werte errechnet werden. So liegt dieser Wert des Wilks-Lambda-Tests bei 0,29 und der Eigenwert bei 2,46.

Eine ähnliche Stabilität lässt sich auch in der Gruppe der jungen Erwachsenen nachweisen.

⁶ Vgl. die genaue Gruppenzuteilung in Kapitel 2.3.3 *Hörakustische Messungen und Fragebogen*.

⁷ Vgl. die genaue Gruppenzuteilung in Kapitel 2.2 *Stichprobe*.

3. Ergebnisse

Obwohl diese Werte in der Gruppe der Jugendlichen (0,63; 0,60) und in der Gruppe der Kinder (0,74; 0,36) nicht stabil sind, sind jedoch Entwicklungstendenzen zu erkennen.

Als besonders signifikante Variable (Cut-Off-Wert = 0,5) konnten in allen Gruppenvergleichen der Differenzwert der Latenzen der P1-Antwort und der BA10-Antwort beidseitig sowie die Latenzen der orbitofrontalen Antworten ermittelt werden.

In den Diskriminanzanalysen der Altersgruppen wurden, um Signifikanzen stärker zu validieren, die Altersgruppen Kinder und Jugendliche sowie junge und ältere Erwachsene in Zweigruppenvergleichen zusammengefasst. Die Ergebnisse sind im *Anhang 4* dargestellt und zeigen stabile Werte hinsichtlich der Gruppenzugehörigkeit.

Tabelle 3 | Resultate der Diskriminanzanalyse

λ = Wilks-Lambda-Test, X^2 = Chi-Quadrat-Test, df = Anzahl der Freiheitsgrade, p = statistische Signifikanz

Diff.-Lat. = Differenz der Latenzen, R = rechts, L = links.

	Stichprobe	Wilk's Lambda	kanonische Korrektur	Eigenwert	Diskriminationsgenauigkeit	Prediktoren, sortiert nach absteigender Relevanz (Cut-OFF-Wert: >0,5)
Zwei Gruppen	162	$\lambda = 0,41$	0,77	1.45 ^a	87,00%	Diff.-Lat.- P1 BA10 L 0,75
		$X^2 = 133,26$				BA10 Lat. R 0,72
		$df = 22$				Diff.-Lat.- P1 BA10 R 0,69
		$p = 6,44E-18$				BA10 Lat. L 0,68
Acht Gruppen						
Kinder	38	$\lambda = 0,74$	0,51	0.39 ^a	68.40%	BA10 Lat. R 0,81
		$X^2 = 10,42$				BA10 Lat. L 0,73
		$df = 4$				Diff.-Lat.- P1 BA10 R 0,63
		$p = 0,03$				Diff.-Lat.- P1 BA10 L 0,57
Jugendliche	40	$\lambda = 0,63$	0,61	0.60 ^a	67,50%	Diff.-Lat.- P1 BA10 L 0,90
		$X^2 = 16,90$				BA10 Lat. L 0,87
		$df = 4$				BA10 Lat. R 0,85
		$p = 0,00$				Diff.-Lat.- P1 BA10 R 0,73
Junge Erwachsene	42	$\lambda = 0,31$	0,83	2.26 ^a	92,90%	Diff.-Lat.- P1 BA10 R 0,77
		$X^2 = 42,50$				Diff.-Lat.- P1 BA10 L 0,74
		$df = 8$				BA10 Lat. L 0,67
		$p = 1,09E-06$				BA10 Lat. R 0,63
Ältere Erwachsene	42	$\lambda = 0,29$	0,84	2.46 ^a	83,30%	BA10 Lat. R 0,85
		$X^2 = 43,47$				BA10 Lat. L 0,79
		$df = 10$				Diff.-Lat.- P1 BA10 R 0,68
		$p = 4,10E-06$				Diff.-Lat.- P1 BA10 L 0,62

3.3 Gruppenvergleiche

Die Gruppenvergleiche wurden durchgeführt, um zu zeigen, ob beziehungsweise inwiefern Alter und musikalische Aktivität einen Einfluss auf die untersuchten Variablen haben.

Zunächst werden die statistischen Daten der hörakustischen und daran anschließend die neuronalen Ergebnisse dargestellt.

3.3.1 Hörakustische Messungen

3.3.1.1 Deskriptive Statistik und Gruppenanalysen

AMMA/IMMA:

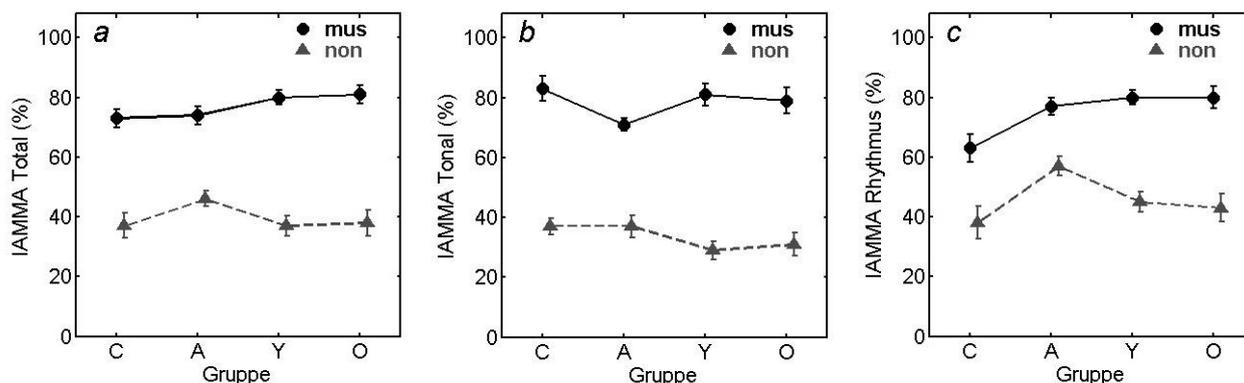


Abbildung 33 | Plots der Ergebnisse des AMMA/IMMA-Tests

a. Gesamtergebnis, b. Ergebnis des Subtests AMMA/IMMA tonal, c. Ergebnis des Subtests AMMA/IMMA rhythmisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Durchschnittswerte der prozentual erreichten Werte, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C-children), Jugendliche (A-adolescents), junge Erwachsene (Y-young adults) und ältere Erwachsene (O-older adults) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen sind mittels Kruskal-Wallis-Test auch in dieser Untersuchung keine altersspezifischen Signifikanzen erkennbar (AMMA/IMMA tonal: $H(3) = 1,38$; $p > 0,05$; AMMA/IMMA rhythmisch: $H(3) = 7,29$; $p > 0,05$; AMMA/IMMA gesamt: $H(3) = 2,03$; $p > 0,05$).

Im Zwei-Gruppenvergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden unabhängig vom Alter sind hingegen deutliche Signifikanzen erkennbar.

I_{MP} (Index musical. Performance):

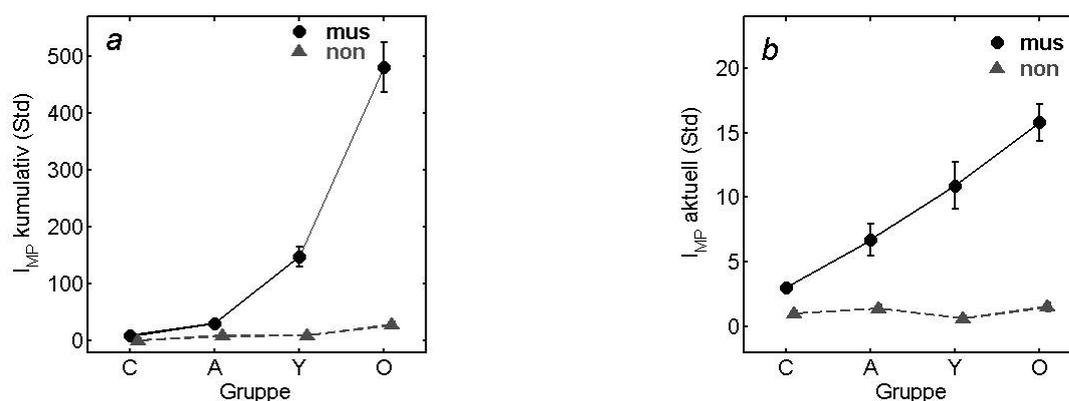


Abbildung 34 | Plots der I_{MP}-Daten

a. I_{MP} kumulativ, b. I_{MP} aktuell.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Gesamtzahl der Übezeit in Stunden (a) beziehungsweise die durchschnittliche wöchentliche Übezeit (b), auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

3. Ergebnisse

Auch beim kumulativen Musizierindex I_{MP} zeigt sich ein großer Unterschied zwischen Viel-Musizierenden und Wenig-Musizierenden in Form eines exponentiellen Anstiegs der entstandenen Übezeit ins Erwachsenenalter hinein.

Der Signifikanzunterschied des kumulativen Musizierindex I_{MP} im Zwei-Gruppenvergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden unabhängig vom Alter beträgt $U = 856,00$; $z = -8,18$; $p < 0,01$; $r = 0,64$ (Effektstärke = groß).

Im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen sind in dieser Untersuchung altersspezifische Signifikanzen erkennbar (I_{MP} kumulativ: $H(3) = 45,24$; $p < 0,001$; I_{MP} aktuell: $H(3) = 12,17$; $p < 0,01$).

Tabelle 4 | Resultate der Gruppenvergleiche der hörakustischen Tests

$U =$ Mann-Whitney-U-Test, $H =$ Kruskal-Wallis-Test, $z =$ Verteilung, $p =$ Signifikanz, $r =$ Effektstärke; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur. Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

	AMMA/IMMA total	AMMA/IMMA tonal	AMMA/IMMA rhythmisch	I_{MP} kumulativ	I_{MP} aktuell
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende					
U	387,50	309,00	948,50	856,00	449,50
Z	-9,70	-9,97	-7,83	-8,18	-9,59
P	2,00*E-28	9,5*7E-31	5,3*2E-17	1,5*2E-18	3,4*E-27
R	-0,76 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,78 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,61 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,64 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,75 (Effektstärke: groß) signifikant *
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen					
H (3)	2,03	1,38	7,29	45,24	12,17
P	>0,05	>0,05	>0,05	<0,001	<0,01
	nicht signifikant	nicht signifikant	nicht signifikant	signifikant	nicht signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende					
U	50,00	33,50	104,00	39,00	54,00
Z	-3,81	-4,30	-2,23	-4,19	-3,79
P	0,00	2,94*E-06	0,025	7,19*E-06	0,00
R	-0,62 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,70 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,36 (Effektstärke: mittel) nicht signifikant *	-0,68 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,61 (Effektstärke: groß) signifikant *
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende					
U	52,00	39,50	92,00	31,50	26,50
Z	-4,01	-4,36	-2,94	-4,57	-4,76
P	0,00	2,29*E-06	0,003	5,056*E-07	1,46*E-07
R	-0,63 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,69 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,46 (Effektstärke: mittel) signifikant *	-0,72 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,75 (Effektstärke: groß) signifikant *
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende					
U	9,50	10,00	14,50	2,00	21,00
Z	-5,29	-5,29	-5,18	-5,66	-5,25
P	4,48*E-10	4,68*E-10	2,05*E-09	1,79*E-11	3,69*E-09
R	-0,83 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,83 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,81 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,88 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,82 (Effektstärke: groß) signifikant *
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende					
U	25,00	26,00	46,50	1,00	16,00
Z	-4,904	-4,88	-4,36	-5,51	-5,16
P	1,76*E-08	4,49*E-08	2,43*E-06	6,71*E-12	3,23*E-09
R	-0,77 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,76 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,68 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,86 (Effektstärke: groß) signifikant *	-0,81 (Effektstärke: groß) signifikant *

Mittels Mann-Whitney-U-Test detektierte Signifikanzen im Subtest AMMA/IMMA-rhythmisch in der Gruppe der Kinder ($U = 104,00$; $z = -2,23$; $p < 0,05$; $r = 0,03$ (Effektstärke = mittel)), erwiesen sich nach Anwendung der Bonferroni-Holm-Korrektur als nicht signifikant.

3.3.2 Neurologische Messungen

3.3.2.1 Auditorisch evozierte Felder (Quellenwellenformen)

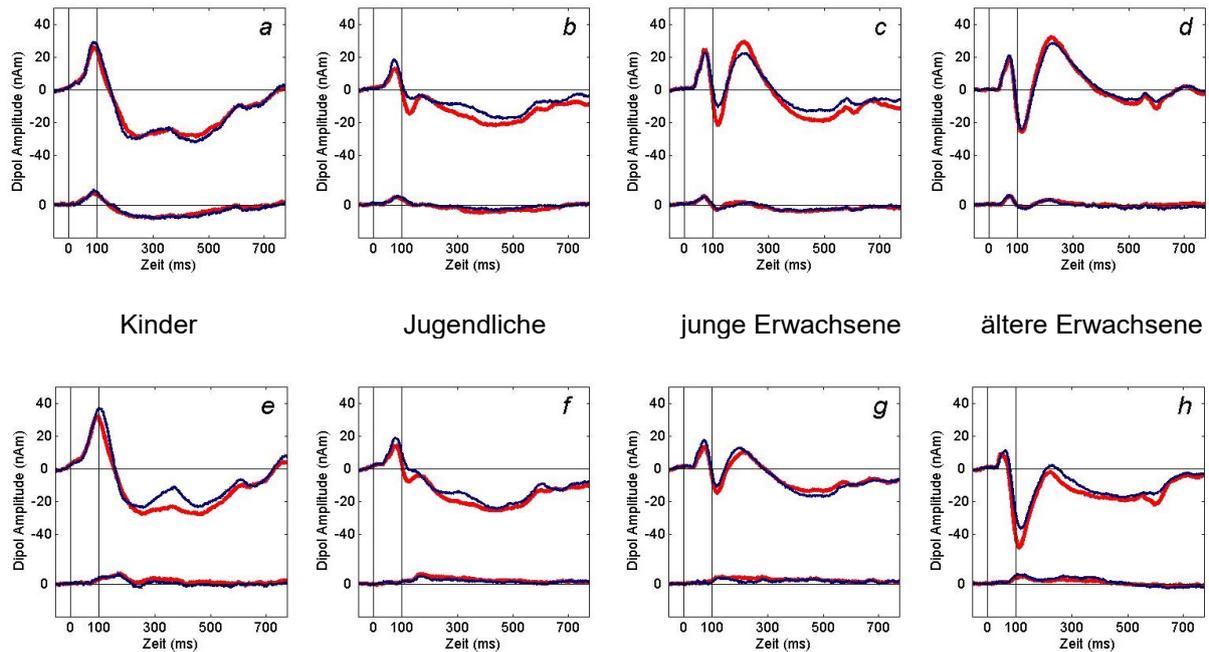


Abbildung 35 | Auditorisch evozierte Felder beim Hören von harmonisch komplexen Klängen

Rote Kurve: rechte Hemisphäre, blaue Kurve: linke Hemisphäre.

Die jeweils obere Kurve zeigt die Antwort des auditorischen Kortex (P1-N1-P2-Komplex), die jeweils untere Kurve die Koaktivierung des BA10 im Präfrontalkortex. Die Abbildungen a-d zeigen die gemittelten Antworten der Viel-Musizierenden, e-h die Antworten der Wenig-Musizierenden (a/e: Kinder, b/f: Jugendliche, c/g: junge Erwachsene, d/h: ältere Erwachsene).

Im Gruppenvergleich der erhobenen neuronalen Daten sieht man bezugnehmend auf die Quellenwellenformen in der Gruppe der Kinder (a/e) eine prägnante P1-Antwort in beiden Hemisphären, bei Jugendlichen (b/f) die ersten Anzeichen einer sich entwickelnden N1-Antwort (rechts früher als links) und bei den Erwachsenen zusätzlich eine P2-Antwort (zu ähnlichen Ergebnissen vgl. Schneider et al. in submission).

Bei den Wenig-Musizierenden entwickelt sich die N1 zum Erwachsenenalter hin als stärkste Antwort mit einer mittleren Amplitude von $|A| > 30$ nAm, bei den Viel-Musizierenden hingegen die P2 als dominanteste Antwort mit einer mittleren Amplitude von ebenfalls $|A| > 30$ nAm (zu ähnlichen Ergebnissen vgl. Benner et al. 2017). Die primäre P1-Antwort wird bei den Wenig-Musizierenden mit fortschreitendem Alter kleiner, bei den Viel-Musizierenden hingegen behält sie im Erwachsenenalter ihre Intensität und entwickelt sich zu einem balancierten, ausgewogenen P1-N1-P2-Komplex.

Die Koaktivierung des BA10 (untere Kurve) zeigt bei den Viel-Musizierenden eine charakteristische Synchronisierung ihres ersten positiven Peaks nach dem Onset mit der P1-Antwort (obere Kurve). Bei Wenig-Musizierenden erfolgt der erste Peak der

BA10-Antwort etwa 30 bis 70 ms nach der auditorisch evozierten P1-Antwort, sodass er bei den Erwachsenen etwa zum Zeitpunkt der N1-Antwort zu sehen ist.

3.3.2.2 Deskriptive Statistik und Gruppenanalysen

Die Tabelle im *Anhang 5* weist die Signifikanzen der MEG-Daten im Vergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden aus.

Im Einzelnen werden die Signifikanzen der für diese Arbeit relevanten Daten entlang ihrer kortikalen Organisation auf der kaudal-rostralen Achse der Antworten dargestellt.

P1:

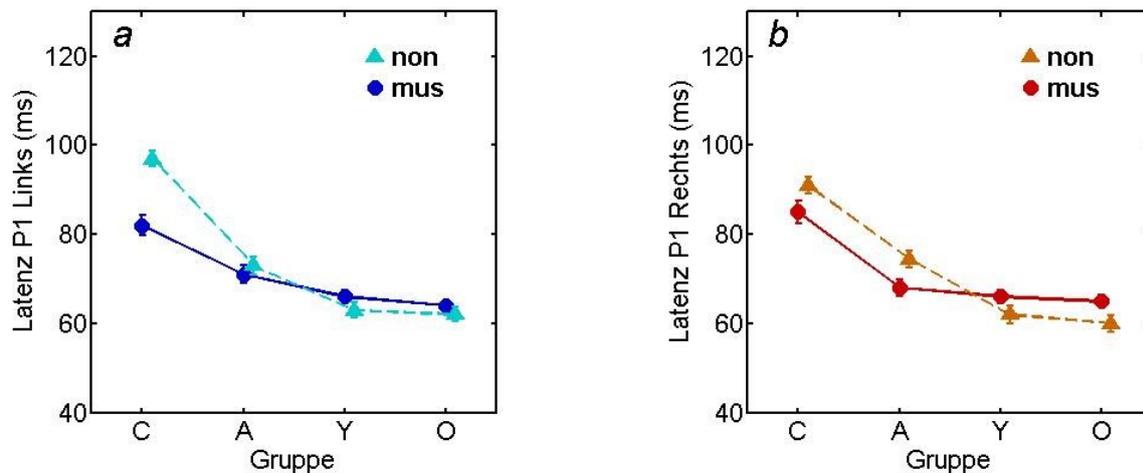


Abbildung 36 | Plots der Latenzen der P1-Antworten
a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Latenz in ms, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

In den Gruppenvergleichen der erhobenen Daten der P1-Antwort sieht man bei den Kindern und Jugendlichen in der Gruppe der Viel-Musizierenden eine kürzere Latenz als bei der Gruppe der Wenig-Musizierenden. Mit zunehmendem Alter ist jedoch eine sich umkehrende Proportion zwischen Viel- und Wenig-Musizierenden zu beobachten; man erkennt in der Gruppe der Wenig-Musizierenden nun eine kürzere Latenz als bei den Viel-Musizierenden.

Signifikante Unterschiede sind rechtshemisphärisch in der Gruppe der älteren Erwachsenen ($U = 121,50$; $z = -2,49$; $p < 0,05$; $r = 0,38$ (Effektstärke=mittel)) zu beobachten. Mittels Mann-Whitney-U-Test detektierte linkshemisphärische Signifikanzen in der Gruppe der Kinder ($U = 109,50$; $z = -2,06$; $p < 0,05$; $r = 0,33$ (Effektstärke = mittel)) sowie rechtshemisphärische Signifikanzen in der Gruppe der jungen Erwachsenen ($U = 121,00$; $z = -2,47$; $p < 0,05$; $r = 0,38$ (Effektstärke = mittel)) erwiesen sich nach Anwendung der Bonferroni-Holm-Korrektur als nicht signifikant.

Die gesamte Gruppe der Viel-Musizierenden zeigt im Vergleich zur Gruppe der Wenig-Musizierenden keine Signifikanzen bezüglich der Latenz der P1-Antwort (rechts: $U = 3108,00$; $z = -0,58$; $p > 0,05$; links: $U = 3256,50$; $z = -0,08$; $p > 0,05$).

3. Ergebnisse

Im Vier-Gruppenvergleich der Altersgruppen sind mittels Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede in Bezug auf die P1-Antwort der unterschiedlichen Altersgruppen nachweisbar (rechts: $H(3) = 79,39$; $p < 0,001$; links: $H(3) = 90,54$; $p < 0,001$).

Tabelle 5 | Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Latenz

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur. Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

P1-Latenz	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	3256,50	3108,00
z	-0,08	-0,58
p	0,94	0,57
	nicht signifikant	nicht signifikant
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	90,54	79,40
p	<0,001	<0,001
	signifikant	signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	109,50	146,00
z	-2,06	-1,00
p	0,04	0,32
r	0,33 (Effektstärke: mittel)	
	nicht signifikant *	nicht signifikant
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	193,00	171,50
z	-0,61	-0,77
p	0,85	0,44
	nicht signifikant	nicht signifikant
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	143,50	121,00
z	-1,90	-2,47
p	0,58	0,01
r		0,38 (Effektstärke: mittel)
	nicht signifikant	nicht signifikant *
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	177,50	121,50
z	-1,04	-2,458
p	0,31	0,01
r		0,38 (Effektstärke: mittel)
	nicht signifikant	signifikant *

3. Ergebnisse

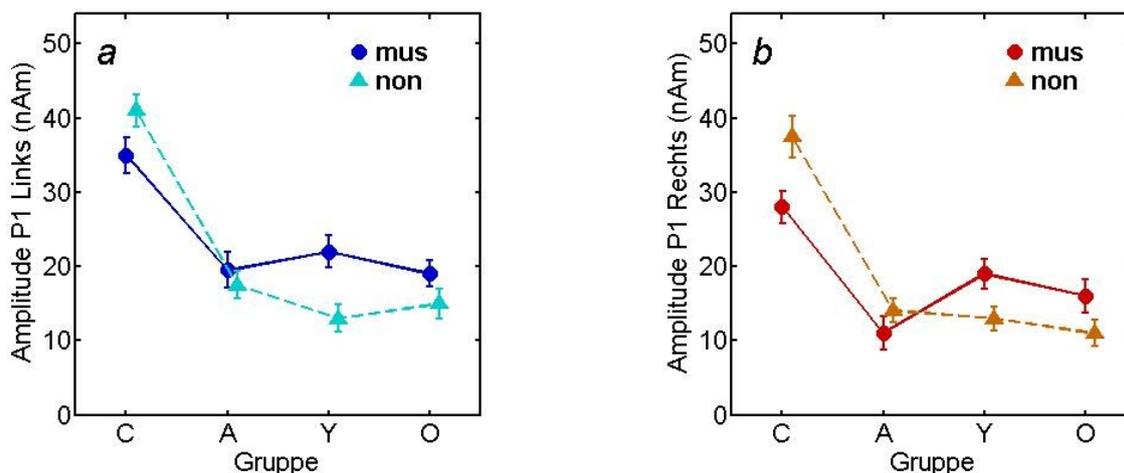


Abbildung 37 | Plots der Amplitudenstärke der P1-Antworten

a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Amplitudenstärke in nAm, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen weisen die Amplituden der P1-Antworten Signifikanzen auf (rechts: $H(3) = 34,70$; $p < 0,001$; links: $H(3) = 45,30$; $p < 0,001$).

Signifikante Gruppenunterschiede sind ebenfalls beim Vergleich der Gruppe der Kinder sowohl mit der Gruppe der Jugendlichen als auch mit den Gruppen der jungen und älteren Erwachsenen sichtbar:

Tabelle 6 | Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Amplitude

U = Mann-Whitney-U-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke.

P1-Amplitude	Kinder/Jugendliche		Kinder/junge Erwachsene		Kinder/ältere Erwachsene	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
U	256,00	274,00	224,00	292,00	201,50	301,00
z	-5,04	-4,86	-5,54	-4,88	-5,75	-4,79
p	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
r	0,57	0,55	0,62	0,54	0,64	0,54
	(Effektstärke: groß)	(Effektstärke: groß)	(Effektstärke: groß)	(Effektstärke: groß)	(Effektstärke: groß)	(Effektstärke: groß)

Im jeweiligen Zwei-Gruppenvergleich der Gruppen Jugendliche, junge und ältere Erwachsene sind jedoch in keiner Konstellation Signifikanzen feststellbar.

Im Acht-Gruppenvergleich gibt es rechtshemisphärisch signifikante Unterschiede in der Gruppe der jungen Erwachsenen ($U = 126,00$; $z = -2,34$; $p < 0,05$; $r = 0,36$ (Effektstärke = mittel)).

Mittels Mann-Whitney-U-Test detektierte rechtshemisphärische Signifikanzen in der Gruppe der jungen ($U = 126,50$; $z = -2,34$; $p < 0,05$; $r = 0,36$ (Effektstärke = mittel)) und in der Gruppe der älteren Erwachsenen ($U = 131,50$; $z = -2,20$; $p < 0,05$; $r = 0,34$ (Effektstärke = mittel)) erwiesen sich nach Anwendung der Bonferroni-Holm-Korrektur als nicht signifikant.

Die gesamte Gruppe Viel-Musizierender zeigt im Vergleich zur Gruppe der Wenig-Musizierenden keine Signifikanzen bezüglich der Amplitude der P1-Antwort (rechts: $U = 2919,00$; $z = -1,21$; $p > 0,05$; links: $U = 3050,50$; $z = -0,077$; $p > 0,05$).

3. Ergebnisse

Tabelle 7 | Resultate der Gruppenvergleiche der P1-Amplitude

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur.
Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

P1-Amplitude	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	3050,50	2919,50
z	-0,77	-1,21
p	0,44	0,23
	nicht signifikant	nicht signifikant
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	45,30	34,70
p	<0,001	<0,001
	signifikant	signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	124,50	119,00
z	-1,79	-2,06
p	0,11	0,08
	nicht signifikant	nicht signifikant
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	177,50	193,00
z	-0,61	-0,19
p	0,55	0,86
	nicht signifikant	nicht signifikant
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	146,50	126,50
z	-1,82	-2,34
p	0,69	0,02
r		0,36 (Effektstärke: mittel)
	nicht signifikant	nicht signifikant *
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	168,00	131,50
z	-1,28	-2,20
p	0,21	0,03
r		0,34 (Effektstärke: mittel)
	nicht signifikant	nicht signifikant *

P2-anterior:

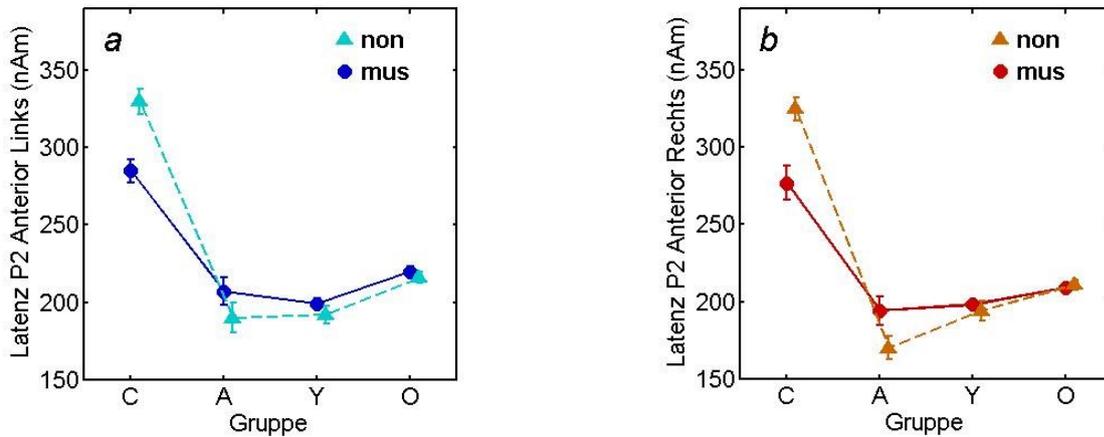


Abbildung 38|Plots der Latenzen der anterioren P2-Antworten

a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Latenz in ms, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Tabelle 8|Resultate der Gruppenvergleiche der anterioren P2-Latenz

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke.

Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

P2-anterior-Latenz	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	3162,00	3257,00
z	-0,36	-0,08
p	0,69	0,94
	nicht signifikant	nicht signifikant
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	22,18	12,93
p	<0,001	<0,001
	signifikant	signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	116,50	132,00
z	-1,86	-1,40
p	0,06	0,16
	nicht signifikant	nicht signifikant
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	149,50	150,50
z	-1,27	-1,34
p	0,17	0,18
	nicht signifikant	nicht signifikant
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	185,00	204,00
z	-0,85	-0,37
p	0,40	0,72
	nicht signifikant	nicht signifikant
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	189,50	211,00
z	-0,73	-0,19
p	0,47	0,86
	nicht signifikant	nicht signifikant

Im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen sind an der anterioren P2-Antwort Signifikanzen bezüglich der Latenz erkennbar (rechts: $H(3) = 12,93$; $p < 0,001$; links: $H(3) = 22,18$; $p < 0,001$).

Ein Effekt der musikalischen Aktivität lässt sich an der Latenz der anterioren P2-Antwort weder beim Vergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden innerhalb der Altersgruppen, noch im generellen Vergleich der Gruppen der Viel-Musizierenden und der Wenig-Musizierenden nachweisen.

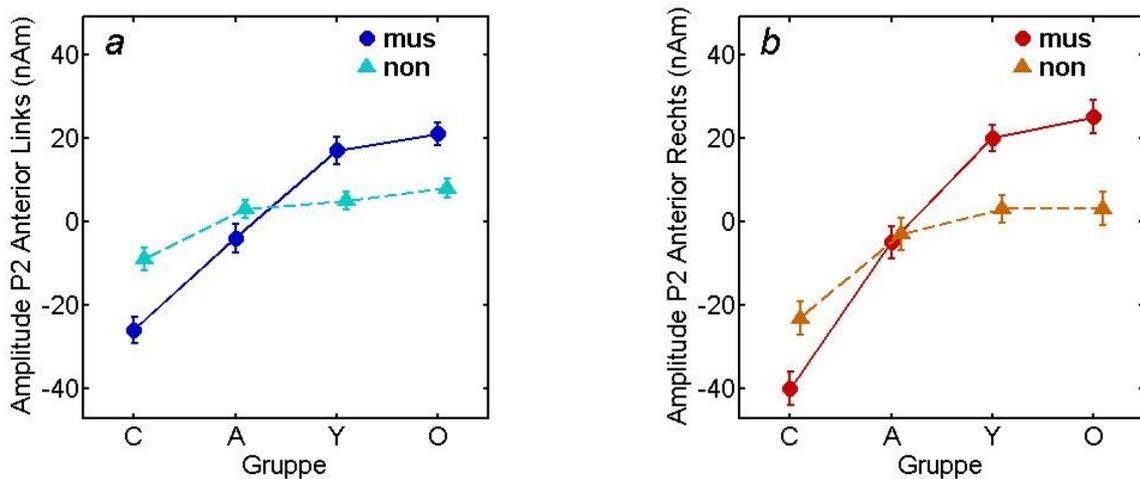


Abbildung 39 | Plots der Amplitudenstärke der anterioren P2-Antworten

a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Amplitudenstärke in nAm, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Die Amplituden der anterioren P2-Antworten weisen im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen Signifikanzen auf (rechts: $H(3) = 72,21$; $p = 0,001$; links: $H(3) = 80,27$; $p < 0,001$).

Beim Vergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden innerhalb der Altersgruppen gibt es – mit Ausnahme der Altersgruppe der Jugendlichen – signifikante Unterschiede, wobei sich die nach Mann-Whitney-U-Test detektierten rechts- ($U = 100,00$; $z = -2,34$; $p < 0,05$; $r = 0,38$ (Effektstärke = mittel)) und linkshemisphärischen ($U = 96,50$; $z = -2,44$; $p < 0,05$; $r = 0,40$ (Effektstärke = mittel)) Signifikanzen in der Gruppe der Kinder ($U = 1005,00$; $z = -2,34$; $p < 0,05$; $r = 0,38$ (Effektstärke = mittel)) sowie im over-all-Vergleich ($U = 2640,00$; $z = -2,14$; $p < 0,05$; $r = 0,20$ (Effektstärke = gering)) nach Anwendung der Bonferroni-Holm-Korrektur nicht bestätigten.

3. Ergebnisse

Tabelle 9 | Resultate der Gruppenvergleiche der anterioren P2-Amplitude

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur. Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

P2-anterior-Amplitude	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	2791,00	2640,00
z	-1,64	-2,14
p	0,10	0,03
r		0,17 (Effektstärke: gering)
	nicht signifikant	nicht signifikant *
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	80,21	72,21
p	=0,001	>0,001
	signifikant	signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	96,50	100,00
z	-2,44	-2,34
p	0,01	0,02
r	0,40 (Effektstärke: mittel)	0,38 (Effektstärke: mittel)
	nicht signifikant *	nicht signifikant *
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	150,50	150,00
z	-1,34	-1,35
p	0,18	0,18
	nicht signifikant	nicht signifikant
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	97,50	106,00
z	-3,06	-2,85
p	0,002	0,004
r	0,47 (Effektstärke: mittel)	0,43 (Effektstärke: mittel)
	signifikant *	signifikant *
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	82,00	55,50
z	-3,46	-4,12
p	0,00	0,00
r	0,53 (Effektstärke: groß)	0,64 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *

BA10:

Bei der Koaktivierung des BA10 als besondere ROI zeigen sich in den Daten der Latenzen signifikante Unterschiede zwischen Viel-Musizierenden und Wenig-Musizierenden in allen Altersgruppen.

Auch im generellen Vergleich der Viel-Musizierenden und Wenig-Musizierenden unabhängig vom Alter zeigen sich signifikante Unterschiede.

Im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen sind ebenfalls Signifikanzen hinsichtlich der Latenz erkennbar (rechts: $H(3) = 22,35$; $p < 0,001$; links: $H(3) = 22,18$; $p < 0,001$).

3. Ergebnisse

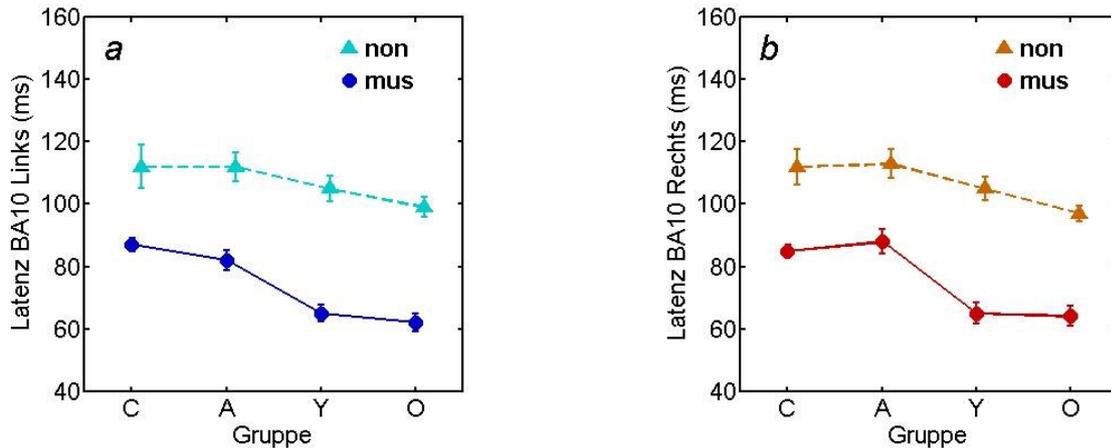


Abbildung 40 | Plots der Latenzen der Koaktivierung im BA10

a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Latenz in ms, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Tabelle 10 | Resultate der Gruppenvergleiche der BA10-Latenz

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur. Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

BA10-Latenz	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	709,00	678,00
z	-8,61	-8,72
p	0,00	0,00
r	0,68 (Effektstärke: groß)	0,68 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	22,18	22,35
p	<0,001	<0,001
	signifikant	signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	78,00	63,50
z	-2,98	-3,41
p	0,00	0,00
r	0,48 (Effektstärke: mittel)	0,55 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	66,50	69,00
z	-3,61	-3,55
p	0,00	0,00
r	0,57 (Effektstärke: groß)	0,56 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	32,50	47,50
z	-4,70	-4,33
p	0,00	0,00
r	0,73 (Effektstärke: groß)	0,67 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *

3. Ergebnisse

BA10-Latenz	links	rechts
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	18,50	8,50
z	-5,06	-5,31
p	0,00	0,00
r	0,78 (Effektstärke: groß)	0,82 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *

Auch absolut betrachtet ist die durchschnittliche Latenz der Koaktivierung im BA10 beidseitig eine Variable, die Unterschiede zwischen Viel- und Wenig-Musizierenden zeigt.

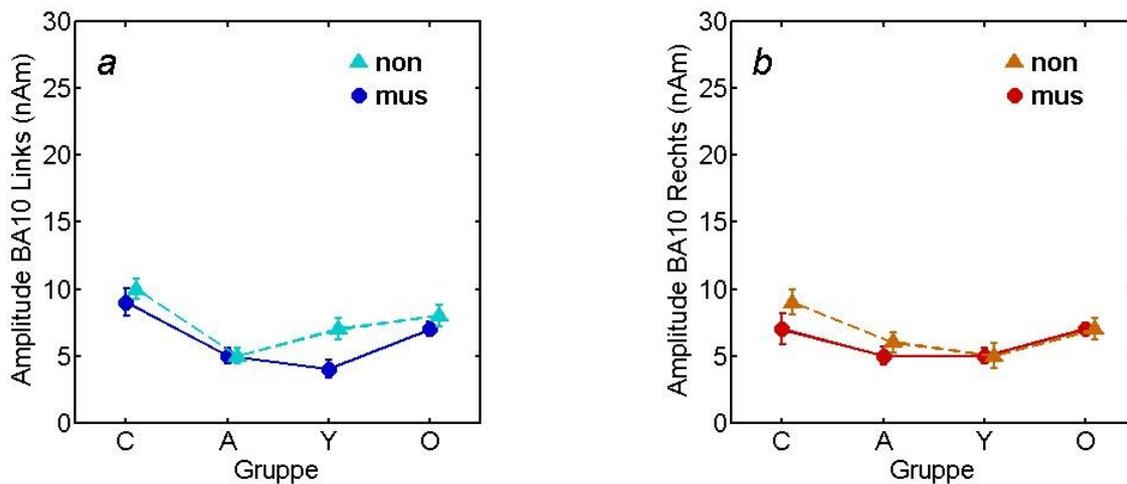


Abbildung 41 | Plots der Amplitudenstärke der BA10
a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Amplitudenstärke in nAm, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Weder beim Vergleich der Viel-Musizierenden mit den Wenig-Musizierenden innerhalb der Altersgruppen noch im over-all-Vergleich aller Altersgruppen zeigen die Amplituden der Koaktivierung im BA10 signifikanten Unterschiede.

Die Daten der BA10-Amplitude weisen jedoch im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen Signifikanzen auf (rechts: $H(3) = 12,93$; $p < 0,05$; links: $H(3) = 21,41$; $p < 0,001$).

Tabelle 11 | Resultate der Gruppenvergleiche der BA10-Amplitude
U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke.
Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

BA10-Amplitude	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	3082,00	2704,50
z	-0,67	-1,94
p	0,51	0,05
	nicht signifikant	nicht signifikant
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	21,41	12,93
p	<0,001	<0,005
	signifikant	signifikant

3. Ergebnisse

BA10-Amplitude	links	rechts
8 Gruppen-Analyse		
Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	164,50	133,00
z	-0,46	-1,38
p	0,66	0,17
	nicht signifikant	nicht signifikant
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	195,50	177,00
z	-0,12	-0,63
p	0,91	0,54
r		
	nicht signifikant	nicht signifikant
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	181,00	184,00
z	-0,96	-0,88
p	0,35	0,39
	nicht signifikant	nicht signifikant
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	209,00	164,50
z	-0,24	-1,37
p	0,82	0,17
	nicht signifikant	nicht signifikant

Differenz Latenz P1-BA10:

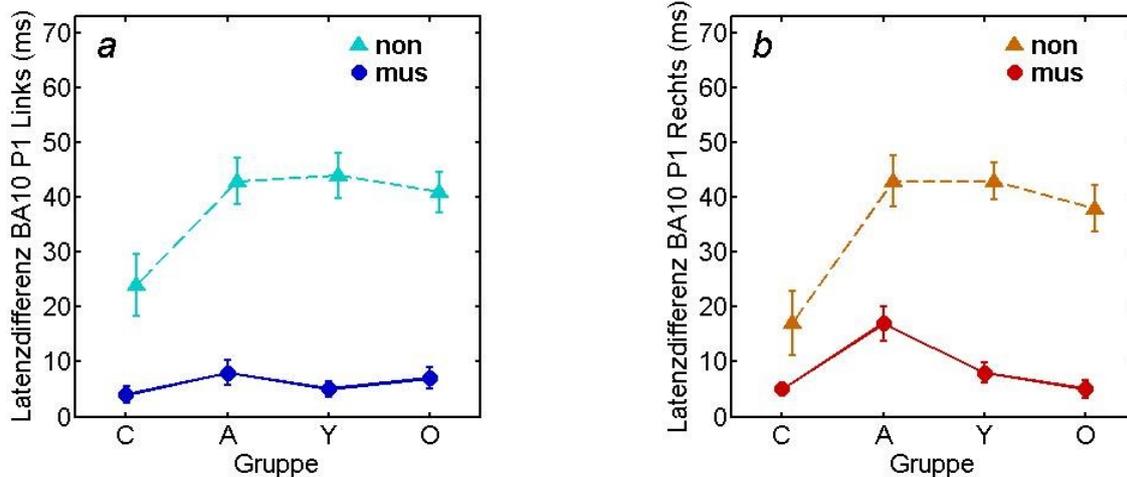


Abbildung 42 | Plots der Differenzwerte der Latenzen von der P1- und der BA10-Antworten

a. linkshemisphärisch, *b.* rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Latenz in ms, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

Hinsichtlich der Differenz der Latenzen von P1- und BA10-Antworten sind im Vergleich aller vier definierten Altersgruppen keine Signifikanzen erkennbar (rechts: $H(3) = 5,73$; $p > 0,05$; links: $H(3) = 1,19$; $p > 0,05$).

Sowohl beim Vergleich innerhalb der Altersgruppen als auch im over-all-Vergleich aller Altersgruppen gibt es jedoch signifikante Unterschiede zwischen Viel- und Wenig-Musizierenden.

3. Ergebnisse

Eine mittels Mann-Whitney-U-Test detektierte rechtshemisphärische Signifikanz in der Gruppe der Kinder ($U = 110,00$; $z = -2,05$; $p < 0,05$; $r = 0,33$ (Effektstärke = mittel)) erwies sich nach Anwendung der Bonferroni-Holm-Korrektur als nicht signifikant.

Tabelle 12 | Resultate der Gruppenvergleiche der Latenzdifferenz von P1- und BA10-Antworten

U = Mann-Whitney-U-Test, H = Kruskal-Wallis-Test, z = Verteilung, p = Signifikanz, r = Effektstärke; * = nach Bonferroni-Holm-Korrektur. Posthoc-Test: Bonferroni-Holm-Korrektur.

Latenzdifferenz P1-BA10	links	rechts
2 Gruppen-Analyse Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	646,00	836,00
z	-8,83	-8,19
p	0,00	0,00
r	0,69 (Effektstärke: groß)	0,64 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *
4 Gruppen-Analyse Vergleich der Altersgruppen		
H (3)	1,19	5,73
p	>0,05 nicht signifikant	>0,05 nicht signifikant
8 Gruppen-Analyse Kinder: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	68,50	110,00
z	-3,26	-2,05
p	0,00	0,04
r	0,53 (Effektstärke: groß)	0,33 (Effektstärke: mittel)
	signifikant *	nicht signifikant *
Jugendliche: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	69,00	86,50
z	-3,55	-3,07
p	0,00	0,00
r	0,56 (Effektstärke: groß)	0,49 (Effektstärke: mittel)
	signifikant *	signifikant *
Junge Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	30,00	31,00
z	-4,77	-4,74
p	0,00	0,00
r	0,75 (Effektstärke: groß)	0,73 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *
Ältere Erwachsene: Vergleich Viel-Musizierende versus Wenig-Musizierende		
U	39,00	34,50
z	-4,54	-4,66
p	0,00	0,00
r	0,70 (Effektstärke: groß)	0,72 (Effektstärke: groß)
	signifikant *	signifikant *

3.4 Korrelationen

Eine Übersicht aller Korrelationen nach Spearman der signifikant detektierten Variablen befindet sich in *Tabelle 13*.

Tabelle 13 | Korrelationen (Spearman) der wichtigsten Variablen

Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Spearman, Sig (2-tailed) = Signifikanz (zweiseitig),

*N = Stichprobengröße, * Korrelation ist signifikant auf dem Level $p = 0,05$ (zweiseitig), ant=anterior, Amp. = Amplitude,*

Lat. = Latenz, Diff.-Lat. = Differenz der Latenzen, R = rechts, L = links.

		IAMMA Total	I _{MP} kumulativ	P2ant Amp. R	P2ant Amp. L	BA10 Lat. R	BA10 Lat. L	Diff.-Lat.- P1 BA10 R	Diff.-Lat.- P1 BA10 L
IAMMA Total	Correlation Coefficient	1,00	0,65**	0,25**	0,23**	-0,54**	-0,51**	-0,48**	-0,52**
	Sig. (2-tailed)		0,00	0,002	0,004	0,000	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
I _{MP} kumulativ	Correlation Coefficient	0,65**	1,00	0,56**	0,56**	-0,62**	-0,63**	-0,38**	-0,42**
	Sig. (2-tailed)	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
P2ant Amp. R	Correlation Coefficient	0,25**	0,56**	1,00	0,85**	-0,39**	-0,40**	-0,14	-0,14
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,08	0,07
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
P2ant Amp. L	Correlation Coefficient	0,23**	0,56**	0,85**	1,00	-0,34**	-0,37**	-0,08	-0,08
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,33	0,29
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
BA10 Lat. R	Correlation Coefficient	-0,54**	-0,62**	-0,39**	-0,34**	1,000	0,93**	0,76**	0,70**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
BA10 Lat. L	Correlation Coefficient	-0,51**	-0,63**	-0,40**	-0,37**	0,93**	1,00	0,71**	0,71**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
Diff.-Lat.- P1 BA10 R	Correlation Coefficient	-0,48**	-0,38**	-0,14	-0,08	0,76**	0,71**	1,00	0,85**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,08	0,33	0,00	0,00		0,00
	N	162	162	162	162	162	162	162	162
Diff.-Lat.- P1 BA10 L	Correlation Coefficient	-0,52**	-0,42**	-0,14	-0,08	0,70**	0,71**	0,85**	1,00
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,07	0,29	0,00	0,00	0,00	
	N	162	162	162	162	162	162	162	162

Altersabhängige Korrelationen sind bei den Variablen P1-Latenz, P1-Amplitude und BA10-Latenz feststellbar. Diese Korrelationen sind in *Tabelle 14* dargestellt.

Tabelle 14 | Altersabhängige Korrelationen (Spearman) der wichtigsten neuronalen Variablen

Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Spearman, Sig (2-tailed) = Signifikanz (zweiseitig),

*N = Stichprobengröße, * Korrelation ist signifikant auf dem Level $p = 0,05$ (zweiseitig), Amp. = Amplitude, Lat. = Latenz,*

R = rechts, L = links.

		Alter	
Spearman's Rho	P1 Lat. R	Correlation Coefficient	-0,68**
		Sig. (2-tailed)	0,00
		N	162
	P1 Lat. L	Correlation Coefficient	-0,72**
		Sig. (2-tailed)	0,00
		N	162
	P1 Amp. R	Correlation Coefficient	-0,34**
		Sig. (2-tailed)	0,00
		N	162

3. Ergebnisse

		Alter
P1 Amp. L	Correlation Coefficient	-0,45**
	Sig. (2-tailed)	0,00
	N	162
BA10 Lat. R	Correlation Coefficient	-0,38**
	Sig. (2-tailed)	0,00
	N	162
BA10 Lat. L	Correlation Coefficient	-0,38**
	Sig. (2-tailed)	0,00
	N	162

Korrelationen mit den gemessenen musikspezifischen behavioralen Variablen sind in *Tabelle 15* dargestellt.

Tabelle 15 | Korrelationen (Spearman) zwischen den wichtigsten neuronalen Variablen und den hörakustischen Tests
 Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Spearman, Sig (2-tailed) = Signifikanz (zweiseitig),
 N = Stichprobengröße, * Korrelation ist signifikant auf dem Level $p = 0,05$ (zweiseitig), ant = anterior,
 Amp. = Amplitude, Lat. = Latenz, Diff.-Lat. = Differenz der Latenzen, R = rechts, L = links.

		IAMMA tonal	IAMMA rhyt.	IAMMA total	I _{MP} kumulativ	I _{MP} aktuell
P1 Lat. R	Correlation Coefficient	0,13	-0,03	0,03	-0,25**	-0,05
	Sig. (2-tailed)	0,10	0,70	0,66	0,00	0,51
	N	162	162	162	162	162
P1 Lat. L	Correlation Coefficient	0,07	-0,09	-0,04	-0,31**	-0,08
	Sig. (2-tailed)	0,37	0,25	0,66	0,00	0,29
	N	162	162	162	162	162
P2ant Lat. R	Correlation Coefficient	0,07	-0,13	-0,03	-0,19*	-0,06
	Sig. (2-tailed)	0,41	0,11	0,67	0,01	0,49
	N	162	162	162	162	162
P2ant Lat. L	Correlation Coefficient	0,06	-0,12	-0,03	-0,20 *	-0,03
	Sig. (2-tailed)	0,42	0,14	0,71	0,01	0,68
	N	162	162	162	162	162
P2ant Amp. R	Correlation Coefficient	0,14	0,30 **	0,25**	0,56**	0,36**
	Sig. (2-tailed)	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
P2ant Amp. L	Correlation Coefficient	0,13	0,29**	0,23**	0,56**	0,33**
	Sig. (2-tailed)	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
BA10 Lat. R	Correlation Coefficient	-0,52**	-0,45**	-0,54**	-0,62**	-0,55**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
BA10 Lat. L	Correlation Coefficient	-0,48**	-0,43**	-0,51**	-0,63**	-0,57**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
Diff.-Lat.- P1 BA10 R	Correlation Coefficient	-0,52**	-0,34**	-0,48**	-0,38**	-0,44**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
Diff.-Lat.- P1 BA10 L	Correlation Coefficient	-0,55**	-0,39**	-0,52**	-0,42**	-0,47**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162

Im Folgenden werden mit Blick auf die Fragestellung und die Ausgangshypothesen der Arbeit Korrelationen in Zusammenhang mit dem BA10 dargestellt:

BA10-Latenz/AMMA/IMMA:

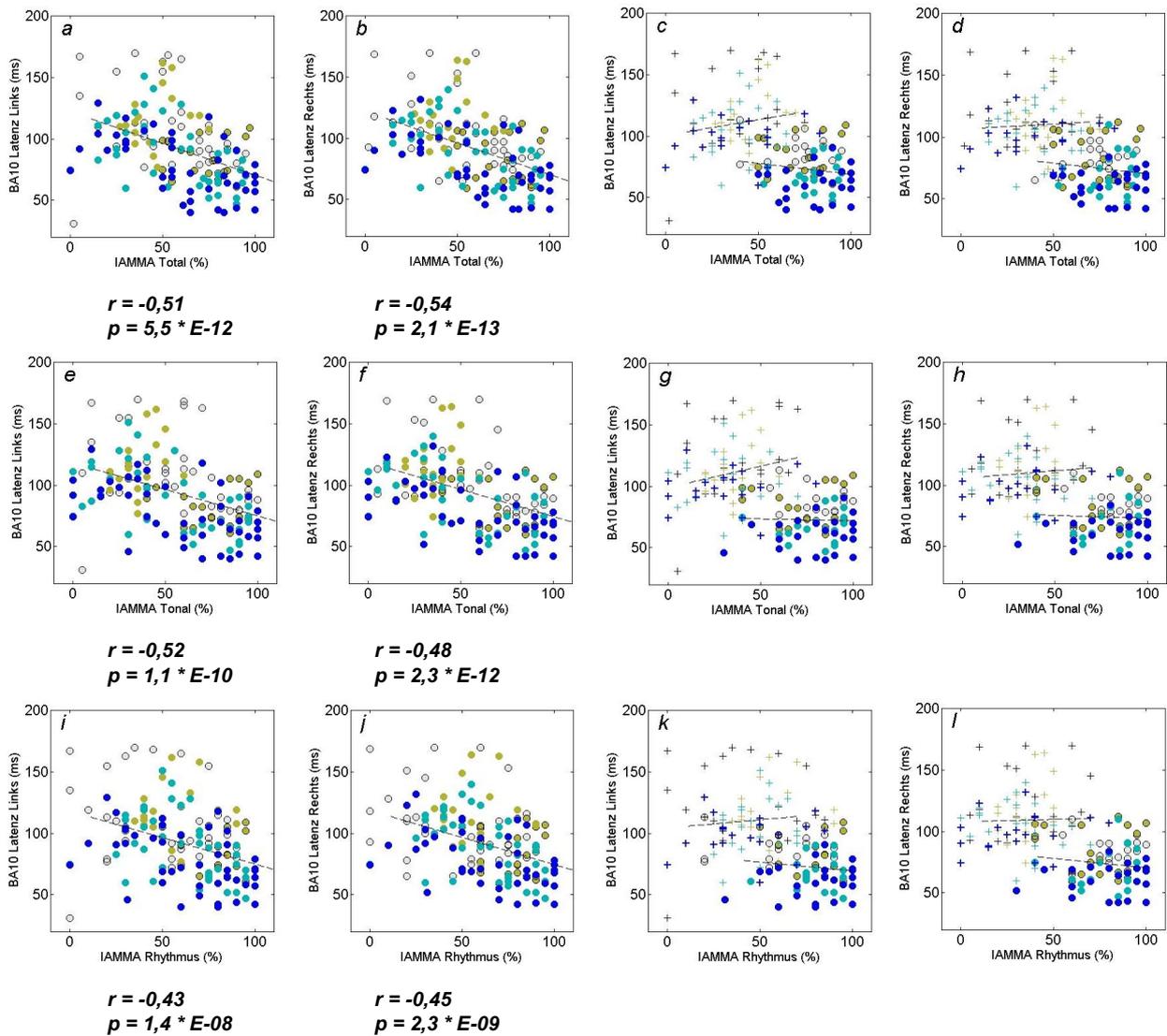


Abbildung 43 | Korrelationen zwischen BA10-Latenz und AMMA/IMMA
Korrelationen zwischen BA10-Latenz und AMMA/IMMA-total (a-d), AMMA/IMMA-tonal (e-h) und AMMA/IMMA-rhythmisch (i-l), jeweils als Gesamtplots sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen).

Anhand der *Abbildungen 43 a-l* und der Korrelationskoeffizienten zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen den AMMA/IMMA-Werten und der BA10-Latenz in der gesamten Probandengruppe, jedoch keine Signifikanz innerhalb der Gruppe der Viel- beziehungsweise Wenig-Musizierenden. Die Korrelationen zwischen der BA10-Latenz und dem AMMA/IMMA-total, sowie den Subtests AMMA/IMMA-tonal und -rhythmisch sind vergleichbar.

BA10-Latenz/ I_{MP} :

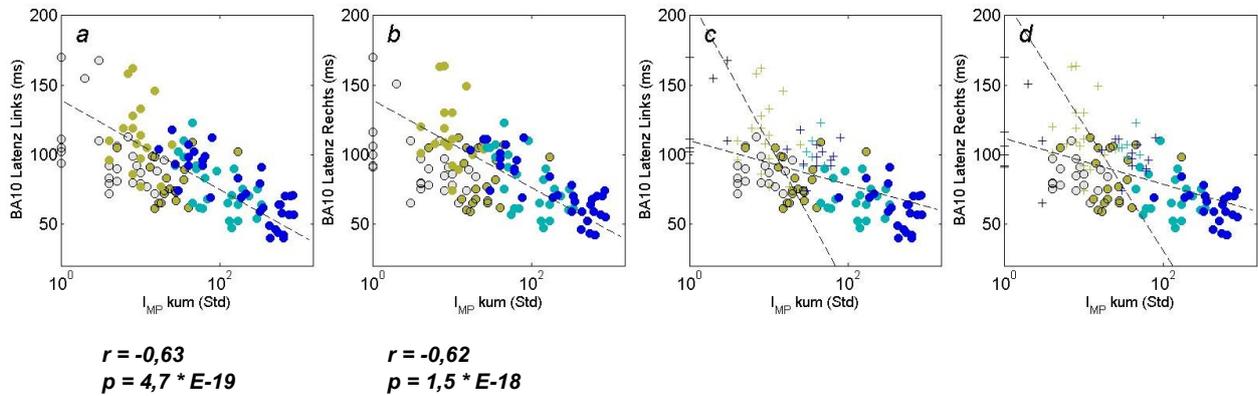


Abbildung 44 | Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I_{MP} kumulativ
 Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I_{MP} kumulativ, jeweils als Gesamtplots (a/b) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

Die Korrelationsplots von BA10-Latenz und I_{MP} zeigen einen etwas stärkeren Zusammenhang als die Korrelationsplots von BA10-Latenz und AMMA/IMMA. Bei geringer Musizierpraxis ist bereits eine Latenzverkürzung im BA10 sichtbar.

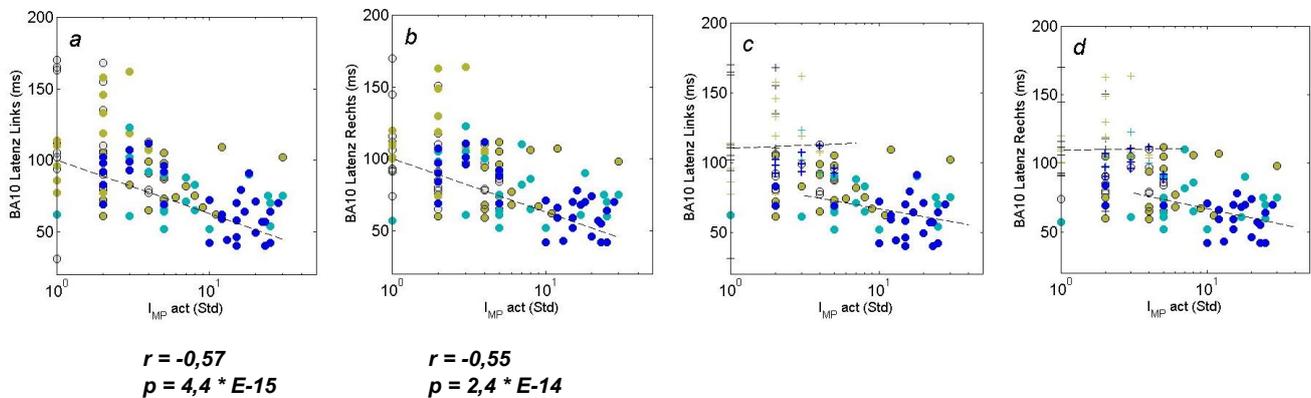


Abbildung 45 | Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I_{MP} aktuell
 Korrelationen zwischen BA10-Latenz und I_{MP} aktuell, jeweils als Gesamtplots (a/b) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

BA10/P2-anteriore-Amplitude:

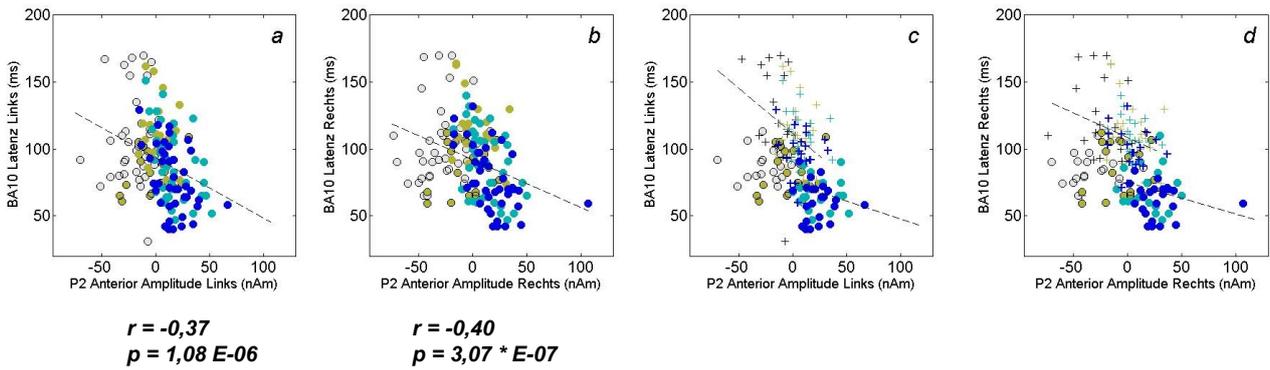


Abbildung 46 | Korrelationen zwischen BA10-Latenz und P2 anterior-Amplitude
Korrelationen zwischen BA10-Latenz und P2 anterior-Amplitude, jeweils als Gesamtplots rechts- (b) und linkshemisphärisch (a) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

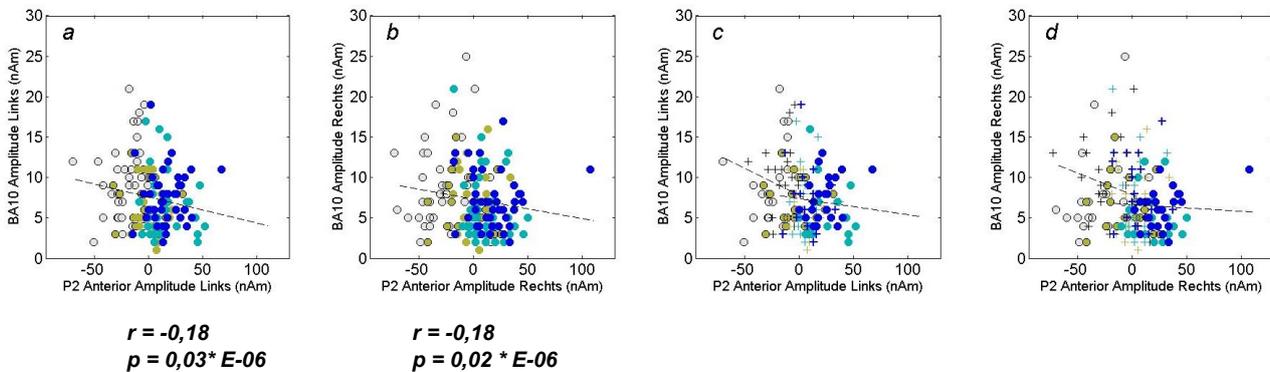


Abbildung 47 | Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und P2 anterior-Amplitude
Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und P2 anterior-Amplitude, jeweils als Gesamtplots rechts- (b) und links-hemisphärisch (a) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

Anhand der *Abbildungen 47 a-d* und der Korrelationskoeffizienten ist ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Amplitudenstärke der anterioren P2-Antwort und der BA10-Latenz in der gesamten Probandengruppe erkennbar. Dieser Effekt bleibt in den Subgruppen der Viel-Musizierenden und Wenig-Musizierenden bestehen. Zwischen den Amplitudenstärken der anterioren P2- und der BA10-Antworten sind keine signifikanten Zusammenhänge erkennbar.

BA10-Amplitude/AMMA/IMMA:

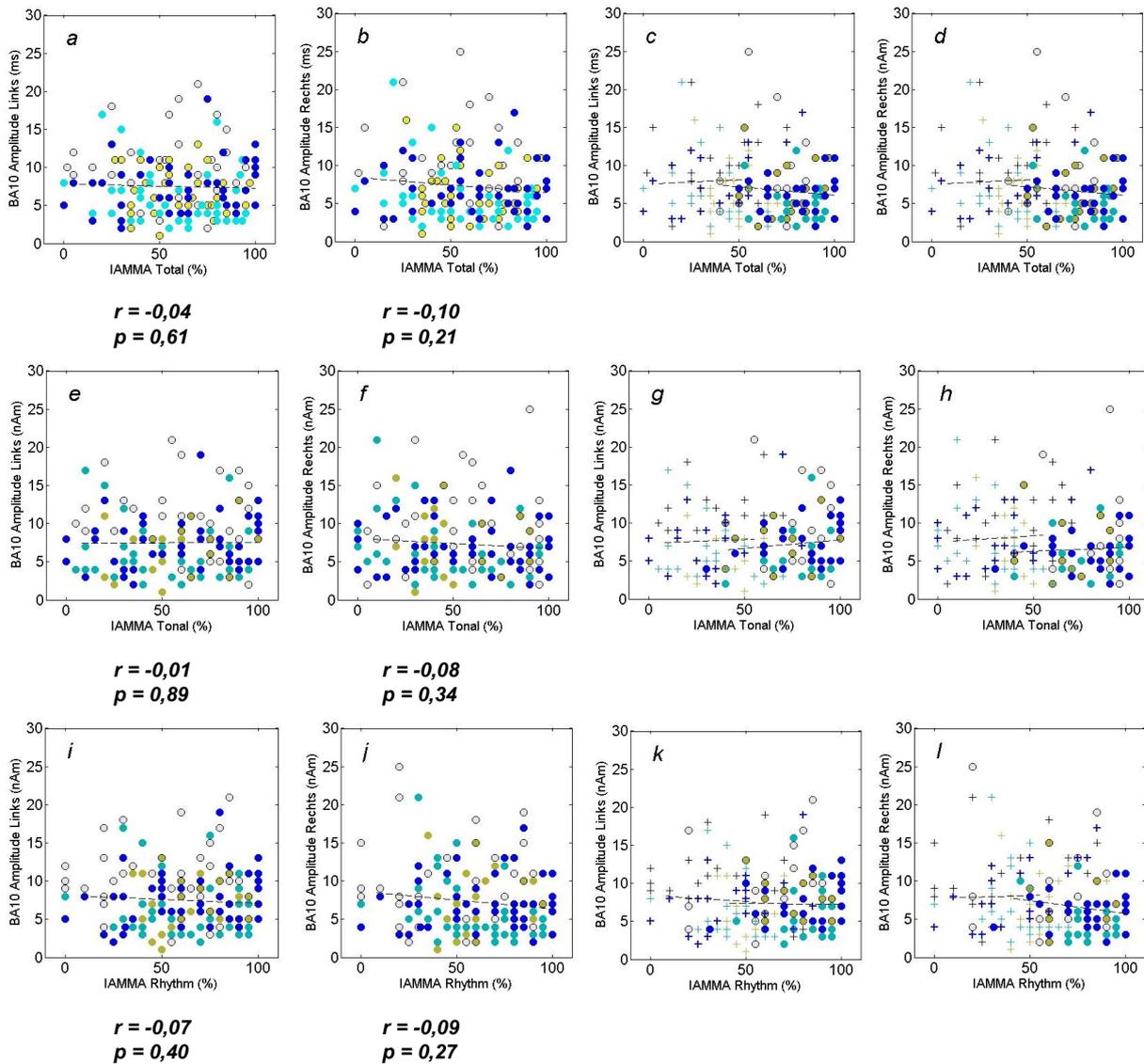


Abbildung 48 | Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und AMMA/IMMA
Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und AMMA/IMMA-total (a-d), AMMA/IMMA-tonal (e-h) und AMMA/IMMA-rhythmisch (i-l), jeweils als Gesamtplots sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen).

BA10-Amplitude/IMP:

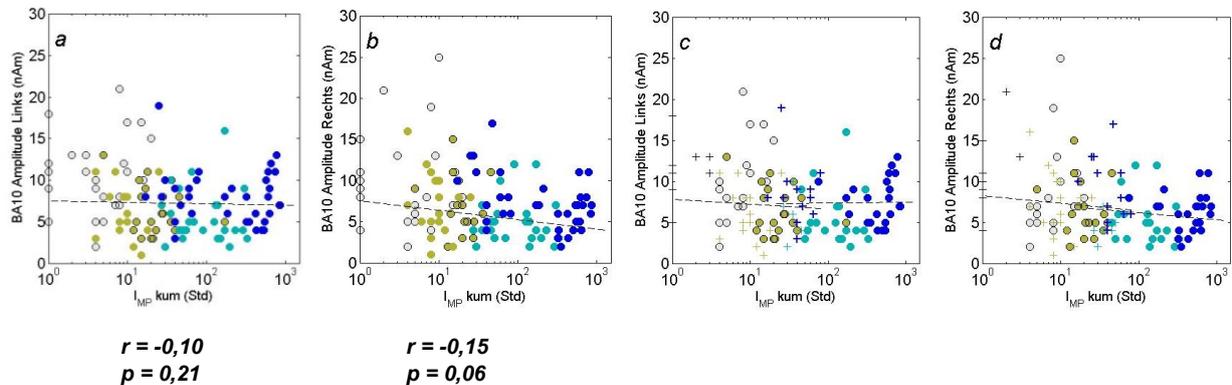


Abbildung 49 | Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I_{MP} kumulativ
Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I_{MP} kumulativ, jeweils als Gesamtplots (a/b) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

3. Ergebnisse

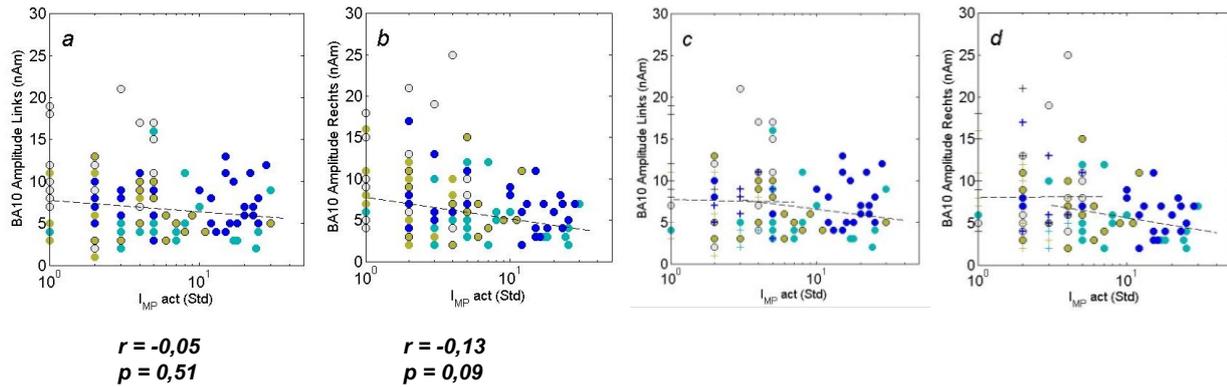


Abbildung 50 | Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I_{MP} aktuell
 Korrelationen zwischen BA10-Amplitude und I_{MP} aktuell, jeweils als Gesamtplots (a/b) sowie unterteilt in Viel-Musizierende (Kreise) und Wenig-Musizierende (Plus-Zeichen) (c/d).

Die Abbildungen 48-50 und die Korrelationskoeffizienten weisen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Amplitudenstärke der BA10-Antwort und den hörakustischen Messungen aus.

3.5 Aussagen zu den Hypothesen

Haupthypothese:

Hinsichtlich der auditorisch-ästhetischen Wahrnehmung lassen sich Korrelationen zwischen Reife und musikalischer Expertise sowie der Größe und des Zeitpunkts der Koaktivierung im BA10 feststellen.

Ergebnis der Untersuchungen:

Anhand der oben dargestellten Ergebnisse lassen sich große Effekte bezüglich der Latenzen der BA10-Antworten sowohl hinsichtlich der Reife als auch der musikalischen Expertise feststellen. Die BA10-Latenz ist bei den Viel-Musizierenden in allen Altersgruppen etwa 30 bis 50 ms kürzer als bei den wenig musikalisch Aktiven.

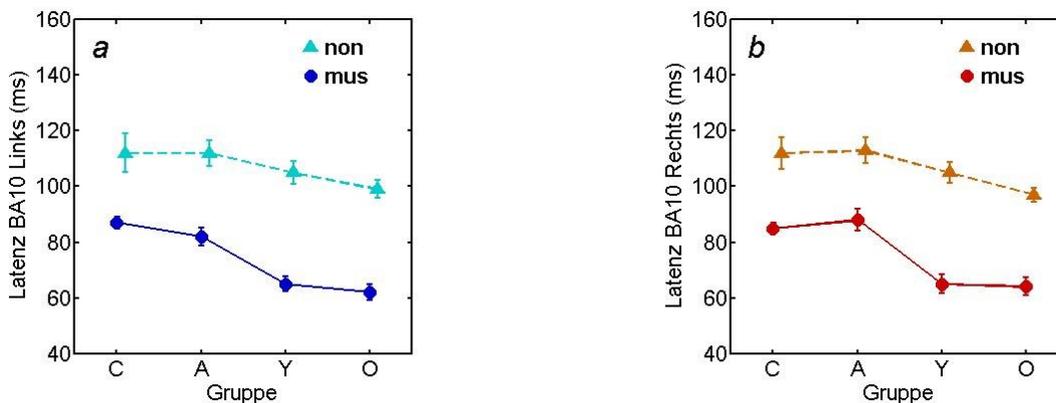


Abbildung 51 | Plots der Latenzen der Koaktivierung im BA10
 a. linkshemisphärisch, b. rechtshemisphärisch.

Auf der Ordinatenachse sind die Mediane der Latenz in ms, auf der Abszisse die definierten Altersgruppen Kinder (C), Jugendliche (A), junge Erwachsene (Y) und ältere Erwachsene (O) ausgewiesen. Die Kreise bezeichnen die Werte der Viel-Musizierenden (mus), die Dreiecke die Werte der Wenig-Musizierenden (non).

3. Ergebnisse

Signifikante Korrelationen zu allen erhobenen behavioralen Variablen sind deutlich nachweisbar.

Tabelle 16 | Detektierte Korrelationen (Spearman) der BA10-Latenz mit den hörakustischen Tests

Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Spearman, Sig (2-tailed) = Signifikanz (zweiseitig), N = Stichprobengröße,

* Korrelation ist signifikant auf dem Level $p = 0,05$ (zweiseitig), Lat. = Latenz, R = rechts, L = links.

		IAMMA tonal	IAMMA rhyt.	IAMMA total	I _{MP} kumulativ	I _{MP} aktuell
BA10 Lat. R	Correlation Coefficient	-0,52**	-0,45**	-0,54**	-0,62**	-0,55**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162
BA10 Lat. L	Correlation Coefficient	-0,48**	-0,43**	-0,51**	-0,63**	-0,57**
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	162	162	162	162	162

Wie bereits beschrieben sind jedoch keine Auswirkungen von Reife beziehungsweise Expertise auf die Amplituden der BA10-Antworten erkennbar.

Nebenhypothesen:

Die stärkere Aktivierung in BA10 korreliert mit der Amplitude der auditorisch evozierten P2-Antwort.

Ergebnis der Untersuchungen:

Anhand der dargestellten Ergebnisse kann diese Nebenhypothese nicht verifiziert werden. Jedoch ist eine starke Korrelation zwischen der Amplitude der anterioren P2-Antwort und der Latenz der BA10-Antwort erkennbar.

Tabelle 17 | Detektierte Korrelationen (Spearman) der BA10-Latenz mit weiteren erhobenen neuronalen Antworten

Correlation Coefficient = Korrelationskoeffizient nach Spearman, Sig (2-tailed) = Signifikanz (zweiseitig), N = Stichprobengröße,

* Korrelation ist signifikant auf dem Level $p = 0,05$ (zweiseitig), ant = anterior, post = posterior, Amp. = Amplitude, ,Lat. = Latenz, R = rechts, L = links.

		BA10 Lat. L	BA10 Lat. R	BA10 Amp. L	BA10 Amp. R
P2ant Lat. R	Correlation Coefficient	0,12	0,16*	0,09	0,23**
	Sig. (2-tailed)	0,14	0,05	0,27	0,00
	N	162	162	162	162
P2ant Lat. L	Correlation Coefficient	0,17*	0,21**	0,13	0,28**
	Sig. (2-tailed)	0,04	0,01	0,09	0,00
	N	162	162	162	162
P2ant Amp. R	Correlation Coefficient	-0,39**	-0,40**	-0,18*	-0,15*
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,02	0,05
	N	162	162	162	162

3. Ergebnisse

		BA10 Lat. L	BA10 Lat. R	BA10 Amp. L	BA10 Amp. R
P2ant Amp. L	Correlation				
	Coefficient	-0,34**	-0,37**	-0,18*	-0,17*
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,02	0,03
	N	162	162	162	162
P2post. Lat. R	Correlation				
	Coefficient	0,08	0,09	0,18*	0,17*
	Sig. (2-tailed)	0,30	0,28	0,02	0,03
	N	162	162	162	162
P2post. Lat. L	Correlation				
	Coefficient	0,09	0,07	0,24**	0,21**
	Sig. (2-tailed)	0,28	0,37	0,00	0,01
	N	162	162	162	162
P2post. Amp. R	Correlation				
	Coefficient	-0,21**	-0,18*	-0,05	0,07
	Sig. (2-tailed)	0,01	0,02	0,55	0,40
	N	162	162	162	162
P2post. Amp. L	Correlation				
	Coefficient	-0,24**	-0,23**	-0,10	-0,00
	Sig. (2-tailed)	0,00	0,00	0,19	0,99
	N	162	162	162	162

Die im BA10 generierte Koaktivierung ist bei Musikern mit der primären auditorischen P1-Antwort synchronisiert.

Ergebnis der Untersuchungen:

Bei den Viel-Musizierenden erfolgt die Aktivierung im BA10 synchron zur P1-Antwort (im Mittel < 10 ms Laufzeitdifferenz, Ausnahme: Jugendliche). Bei den Wenig-Musizierenden erfolgt die Aktivierung im BA10 asynchron (im Mittel > 40 ms Differenz). Siehe hierzu *Abbildung 35*.

3.6 Zusammenfassung

Die Einteilung von Probanden in dieser Arbeit erlaubt das Detektieren von Signifikanzen in Zusammenhang mit musikalischer Aktivität und Reife.

In jedem Gruppenvergleich ist die Koaktivierung des BA10 als ROI der vorliegenden Arbeit bezüglich der Latenz signifikant.

Auch der Differenzwert der P1- und BA10-Latenz als Hinweis auf eine intra-hemisphärische Synchronisation weist in allen Gruppenvergleichen Signifikanzen auf. Nicht alle nach dem Mann-Whitney-U-Test detektierten Signifikanzen wurden jedoch nach Bonferroni-Holm-Korrektur bestätigt.

Die Amplituden des BA10 hingegen erweisen sich nur im Vergleich der Altersgruppen als signifikant.

Tabelle 18 gibt einen Überblick der reife- beziehungsweise expertisenbedingten Variablen (IMP_{kumulativ}, AMMA/IMMA, P2 anterior-Amplitude und BA10-Latenz), die über mehrere Gruppen als signifikant detektiert sind.

3. Ergebnisse

Tabelle 18 | Überblick über Reife- und Expertise-bedingten Variablen

	BA10 Latenz rechts + links	P2 anterior Amplitude rechts + links	Differenz Latenz P1-BA10 rechts + links	AMMA total	I _{MP} kumulativ
Altersabhängige Variable (4- Gruppen-Analyse)	X	X	-	-	X
Musikabhängige Variable (2- Gruppen-Analyse)	X	X	X	X	X
Musikabhängige Variable innerhalb der Altersgruppe (8-Gruppen- Analyse)	X	Ja, Ausnahme: Jugendliche	X	-	X

Die Latenz des BA10 zeigt signifikante Korrelationen zu allen vorgenommenen hörakustischen Tests. Des Weiteren konnten Zusammenhänge zwischen der Latenz des BA10 und der Amplitude der anterioren P2 gezeigt werden.

4. Diskussion

Ausgehend vom Wissen um die Bedeutung des Präfrontalkortex in Bezug auf die ästhetische Verarbeitung, im Besonderen bei der visuellen Wahrnehmung, wurde die Fragestellung formuliert:

Wie unterscheiden sich neurophysiologische Koaktivierungen auditorischer Verarbeitungsmuster im Präfrontalkortex im Zusammenhang mit musikalisch-ästhetischer Wahrnehmung bei Probanden, die viel beziehungsweise wenig musizieren?

Wohlwissend, dass das komplexe Phänomen „Ästhetik“ neurologisch ein großes Netzwerk involviert (so sind neben den primären Arealen der jeweiligen Sinneswahrnehmung, limbische und paralimbische Strukturen hinsichtlich emotionaler, der Präfrontalkortex hinsichtlich kognitiver Verarbeitung sowie die motorischen Areale beteiligt) und vermutend, dass es sich bei ästhetischer Verarbeitung im Idealfall um ein synästhetisches Ereignis handeln kann, fiel der Fokus dieser Arbeit auf einen Teilbereich dieses großen Netzwerkes – auf die ästhetisch-kognitive Verarbeitung auditorischer Wahrnehmung.

Diesbezüglich steht diese Arbeit in der philosophischen Tradition des Hegel'schen Zitats:

„‘Sinn’ nämlich ist dies wunderbare Wort, welches selber in zwei entgegengesetzten Bedeutungen gebraucht wird. Einmal bezeichnet es die Organe der unmittelbaren Auffassung, das andere Mal heißt Sinn: die Bedeutung, den Gedanken, das Allgemeine einer Sache.“ (Hegel 1812, S.173)

Da BA10 in vormaligen Arbeiten als wichtige Region der ästhetisch-kognitiven Verarbeitung beschrieben wurde, steht in dieser Arbeit seine potentielle Koaktivierung bei auditorischer Stimulation im Fokus.

Die zu Beginn dieser Arbeit vorgestellte Idee, eine neuronale Verortung eines umfassenden Ästhetikbegriffs, welcher das geschmackliche Urteil ebenso im Blick hat wie das Reflexionsvermögen, konnte nach Kenntnis des oben beschriebenen Forschungsstands zum Präfrontalkortex und durch die neuronale Verortung von Ästhetik hinsichtlich der ästhetisch-kognitiven Verarbeitung im BA10 in vormaligen Arbeiten (Cunningham et al. 2004, Gilbert et al. 2006, Jacobsen et al. 2006, Burgess et al. 2007, Chatterjee 2011, Brown et al. 2011, Dumontheil 2014) anhand der dargestellten Recherche im Kapitel 1 *Einleitung* umgesetzt werden.

Kants Hypothesen zur Besonderheit des Menschen als moralisches, vernunftbezogen urteilendes Wesen, welches auch die Möglichkeit zur Erfahrung des „Schönen“ hat (Seel 2000), finden kortikale Entsprechungen in den neurologischen Beobachtungen, die den rostralen Präfrontalkortex als größtes cytoarchitektonisches Areal beschreiben (Gilbert et al. 2006). Dieses Areal gilt wie oben dargestellt aufgrund der großen evolutionären Expansion und der großen Volumendifferenz im Vergleich mit Menschenaffen als äußerst bedeutend im Bezug auf das menschliche Denken und Handeln. BA10 wurde in Studien mehrfach als wichtiges Areal hinsichtlich der Möglichkeit zu ästhetischen, moralischen und religiösen Urteilen beschrieben (Greene et al. 2001, Moll et al. 2001, Johnson et al. 2002, Cunningham et al. 2003, Jacobsen et al. 2006, Gilbert et al. 2006, Burgess et al. 2007).

4.1 Ästhetisch-kognitive Verarbeitung auditorischer Wahrnehmung

Die Haupthypothese

„Hinsichtlich der auditorisch-ästhetischen Wahrnehmung lassen sich Korrelationen zwischen Reife sowie musikalischer Expertise und der Größe und des Zeitpunkts der Koaktivierung im BA10 feststellen“

konnte bezüglich des Zeitpunktes, nicht jedoch bezüglich der Intensität der Koaktivierung bestätigt werden.

Die neue Perspektive dieser Arbeit, Reife- und Expertise-bedingte Veränderungen der Koaktivierung des BA10 über die Parameter Latenz und Amplitude der MEG-Daten zu untersuchen und diese mit den Ergebnissen verschiedener hörakustischer Testungen (AMMA/IMMA, Erhebungen der Musizierpraxis (IMP)) sowie mit den MEG-Daten aus dem primären und sekundären Kortex zusammenzuführen, führt zu einer Reihe neuer, bemerkenswerter Beobachtungen, die im Folgenden diskutiert werden.

4.2 Entwicklungsprozesse und Expertisen-Aufbau ästhetisch-kognitiver Fähigkeiten auditorischer Wahrnehmung

4.2.1 Latenz

In keiner bisherigen Arbeit wurde die unterschiedliche Latenz der Koaktivierung im BA10 bei musikalisch aktiven und musikalisch wenig bis nicht aktiven Personen erhoben. Neben diesem Aspekt wurden in dieser Arbeit vier verschiedene Subgruppen mit unterschiedlichem Reifegrad (Kinder, Jugendliche, junge und ältere Erwachsene) bezüglich ihrer auditorischen Aktivierung im Hörkortex und der Koaktivierung im BA10 miteinander verglichen. Somit konnten Korrelationen von musikalischer Expertise und Reifung zur Koaktivierung des BA10 aufgezeigt werden.

Wie im Kapitel 3.3.2 *Neurologische Messungen* dargestellt, wird die in anderen Arbeiten beschriebene Akzeleration der Latenzen im Präfrontalkortex (Dumontheil 2014) mit zunehmender Reifung im Zusammenhang mit der Koaktivierung im BA10 bei auditorischer Stimulation bestätigt.

Zum ersten Mal konnte in dieser Arbeit darüber hinaus gezeigt werden, dass die Latenz der BA10-Antwort bei viel musizierenden Personen generell deutlich kürzer ist.

In welchem Maß angeborene Begabung oder musikalisches Lernen auf diesen Effekt Einfluss nehmen, kann in dieser Arbeit nicht beantwortet werden, denn die intensivere Musizierpraxis in der Gruppe der Viel-Musizierenden könnte unter anderem mit einer starken intrinsischen Motivation, die durch eine größere musikalische Begabung ausgelöst wird, einhergehen (Winner 2007, S.5 ff.; Spychiger und Hechler 2014, S.35). Um diese Annahme zu verifizieren, müssten unter anderem weitere Daten aus Längsschnittstudien entsprechend ausgewertet werden.

In Kapitel 3.4 *Korrelationen* wird gezeigt, dass die Korrelationsplots von BA10-Latenz/IMP einen etwas stärkeren Zusammenhang aufweisen als die Korrelationsplots von BA10-Latenz/IAMMA (IAMMA wird als stabiler Musikbegabungs-Wert beschrieben (Gordon 1997, S.111-115)). Des Weiteren wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass selbst bei geringer Steigerung der musikalischen Aktivität eine Latenzverkürzung

im BA10 sichtbar ist. Diese Beobachtungen unterstützen eher die Annahme eines stärkeren lernabhängigen Effekts auf die Latenzzeit als die Annahme eines vorherrschenden Begabungseinflusses.

Die Tatsache, dass jedoch schon bei viel musizierenden Kindern die Latenz kürzer ist als bei Erwachsenen der Kontrollgruppe, könnte ein Hinweis für die Dominanz eines angeborenen Begabungsfaktors auf den Latenz-Effekt sein. Bei dieser Annahme würde jedoch die sicherlich große Bedeutung des (informellen) frühkindlichen und pränatalen Lernens ausgeblendet werden.

Eindeutig erweist sich die BA10-Latenz aber als signifikantes Korrelat zum musikalischen Begabungstest IAMMA und zum I_{MP}.

Grundsätzlich wird die in der Begabungsforschung (Blood und Zatorre 2000; Gembris 2002, S.152-200; Lehmann und Gruber 2014, S.102, S.192 ff.; Mosing 2014; Seither-Preisler et al. 2014) angenommene Verzahnung der Parameter nature und nurture hinsichtlich Expertisenentwicklung auch bei der Koaktivierung in BA10 in Zusammenhang mit dem (musikbezogenen) Hören vermutet.

Aufgrund der vormaligen Beschreibung des BA10 als koaktiviertes Areal hinsichtlich ästhetischen Handelns (Gilbert et al. 2006, Jacobsen et al. 2006, Burgess et al. 2007) und aufgrund des Ergebnisses, dass die Latenz in BA10 starke Korrelationen zu den hörakustischen Messungen zeigt, ist der Ansatz dieser Arbeit gerechtfertigt, die – angesichts des Fehlens von geeigneten psychometrischen Ästhetik-Tests – verwendeten Hörtests als prädiktives Maß für musikalisch-ästhetisches Handeln heranzuziehen.

4.2.2 Synchronisation

In vormaligen Forschungen wurden Zusammenhänge zwischen Aufbau musikalischer Expertise und unterschiedlicher Entwicklung der P2-Antwort viel und wenig musizierender Personen beschrieben (Benner 2017). Hiervon ausgehend wurden in dieser Arbeit die erhobenen Daten hinsichtlich Korrelationen zwischen anteriorer P2- und BA10-Antwort untersucht. Wie oben dargestellt, ist die vermutete Korrelation zwischen den Amplituden der anterioren P2 (diese Antwort steht im Zusammenhang mit komplexeren Aspekten der Klangverarbeitung) und dem BA10 nicht bestätigt worden. Stattdessen sind jedoch Korrelationen zwischen der anterioren P2-Amplitude und der BA10-Latenz sowie eine Synchronisation zwischen P1- und BA10-Antwort deutlich erkennbar.

Da bei musikalisch Aktiven im Regelfall im Gehirn stärkere multisensorische und interhemisphärische Netzwerke existieren, kann bei dieser Personengruppe per se mit einem größeren Ausmaß an Synchronisationseffekten gerechnet werden (Schneider et al. in submission). Somit erweist sich Synchronisation als starkes Merkmal für aktives Hören und Musikalität (Schneider et al. in submission).

Zwei verschiedene Ebenen der Synchronisation sind in den Daten dieser Arbeit sichtbar:

- a. interhemisphärische Synchronisation
- b. intrahemisphärische Synchronisation

In Bezug auf die Latenzdifferenzwerte von P1 (elementare auditorische Verarbeitungsstufe) und BA10 lässt sich im Vergleich zwischen Viel- und Wenig-Musizierenden eine deutlich gesteigerte intrahemisphärische Synchronisation von P1- und BA10-Antworten erkennen.

Wie im Kapitel 3.3.2 *Neurologische Messungen* gezeigt, ist die P1/BA10-Synchronisation bei den Probanden in der Gruppe der Kinder am stärksten; wohingegen es bei den Jugendlichen in der Pubertät zu Disbalancen kommt. Im Erwachsenenalter nimmt die Synchronisation zwischen P1- und BA10-Latenz wieder zu.

Da die stärkste Ausprägung der P1/BA10-Synchronisation bei Kindern zu beobachten ist, gibt es Grund zur Annahme, dass die Möglichkeit zur Ausbildung von multisensorischen Netzwerken zwar multifaktoriell bestimmt ist, das heißt sowohl dispositionelle als auch expertisebedingte Komponenten aufweist, die P1/BA10-Synchronisation aber eher zu den anlagebedingten Faktoren gehört.

Die Abschwächung der Synchronisation in der Gruppe der Jugendlichen (Abbildung 42) wird als Merkmal der Umstrukturierungsprozesse in dieser sensiblen Phase der Entwicklung von der Kindheit zum Erwachsenenalter interpretiert.

4.2.3 Pubertät

Die Disbalance in der Synchronisation der P1-Antwort in der Gruppe der Jugendlichen tritt gemeinsam mit dem Entstehen der N1-Antwort, die sich rechtshemisphärisch schneller als linkshemisphärisch entwickelt, in Erscheinung. Die große Synchronizität der rechten und linken P1-Antwort in der Gruppe der viel-musizierenden Kinder, die im Jugendalter vorübergehend verloren geht, ist schon bei den jungen Erwachsenen wieder erkennbar. In den Quellenwellenformen zeigt sich in dieser Gruppe des Weiteren eine prominente P2-Antwort, die sich ebenso wie die N1-Antwort rechts schneller herausbildet als links. Bei allen drei beschriebenen neuronalen Antworten (P1, N1, P2) ist eine große Synchronisation hinsichtlich des Zeitpunktes des Peaks erkennbar. Mit reiferem Alter (Gruppe der älteren Erwachsenen) ist bei den Viel-Musizierenden eine auffällige rechts-/linkshemisphärische Balance sowohl hinsichtlich zeitlicher Synchronisation als auch hinsichtlich der Amplitude zu beobachten (Blatow submitted 2021).

In der Gruppe der Wenig-Musizierenden sind keine umfassenden Synchronisationseffekte des P1-N1-P2-Antwort-Komplexes zu erkennen. Die sich schneller entwickelnde N1-Antwort im Jugendalter sowie die entstehende P2-Antwort sind auch in der Gruppe der Wenig-Musizierenden zu sehen. Jedoch entsteht in dieser Gruppe bis hin zu den reiferen Erwachsenen kein ausbalancierter P1-N1-P2-Komplex mit großer P2-Amplitude.

In der Pubertätszeit kann man in den Plots im P1-N1-P2-Komplex (Abbildungen 36-39) Disbalancen aber auch Überkreuzungspunkte (P1-Latenz, P1-/P2-Amplitude) sehen. Die nach der Pubertät umgekehrten Proportionen sind durch unterschiedliche Reifeprozesse von N1- und P2-Antwort bei Viel- beziehungsweise Wenig-Musizierenden und Nicht-Musikern zu erklären (Schneider et al. in submission).

Die BA10-Antwort der Viel-Musizierenden ist in jeder der in dieser Arbeit untersuchten Lebensphasen synchroner zur P1-Antwort als in der Gruppe der Wenig-Musizierenden. Am wenigsten ausgeprägt ist die Synchronisation bei den Viel-Musizierenden jedoch in der Gruppe der Jugendlichen. In der Kontrollgruppe (Wenig-Musizierende) ist ein ähnlicher Effekt rechtshemisphärisch zu beobachten, während man linkshemisphärisch die geringste Synchronisation in der Gruppe der jungen Erwachsenen sehen kann.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Viel-Musizierende bezüglich der auditorisch-ästhetischen Wahrnehmung eine akzeleriertere Entwicklung der präfrontalen Netzwerke im Besonderen linkshemisphärisch haben als die Kontrollgruppe.

4.3 Netzwerke ästhetisch-kognitiver Verarbeitung auditorischer Wahrnehmung

Das auditorisch-ästhetische Netzwerk beinhaltet im Wesentlichen perzeptive, kognitive, affektive, motorische und homöostatische Prozesse (Blood und Zatorre 2001, Kawabata und Zeki 2004, Jacobsen et al. 2006, Chatterjee 2011, Tewes 2011, Brown et al. 2011, Hodges 2013, S.252), die in vielfältiger Weise aufeinander bezogen sind.

Es werden diesbezüglich Unterscheidungen getroffen wie primäre, sekundäre, tertiäre, quartäre (usw.) auditorische Wahrnehmung. Hierunter versteht man Verarbeitungen auf den unterschiedlichen Hierarchieebenen des Hörens (Popper und Eccles 1977, S.304; Hodges 2013).

Die primäre, sekundäre und tertiäre Klangverarbeitung wird entsprechenden hierarchisch geordneten Regionen (Core, Belt und Parabelt) innerhalb des auditorischen Kortex zugeschrieben (Hackett et al. 1998, Rauschecker 2009, Blatow submitted 2021). Diesen sind subkortikale limbisch/paralimbische Reaktionen vorgeschaltet (Kraus und Nicol 2005, Wong 2007, Kraus und Chandrasekaran 2010, Kraus und Anderson 2014, Kraus et al 2017). Innerhalb des Hörkortex ist über MEG-Messungen eine primäre P1-Antwort bei 30-70 ms (elementare auditorische Verarbeitungsstufen wie zum Beispiel Lautstärke-, Frequenz-, Tonlängen-Unterscheidung), eine sekundäre N1-Antwort bei 100 ms (aufmerksamkeitsbezogene Prozesse) und eine tertiäre P2-Antwort bei 150-250 ms (kognitive Prozesse) beschrieben (Schneider 2005, Benner et al. 2017, Wengenroth 2014, Blatow submitted 2021).

Folgende Korrelationen des P1-N1-P2-Antwort-Komplexes zu den auditorischen Verarbeitungsstufen von Scheich et al. (Scheich et al. 2011) werden an dieser Stelle vorgeschlagen:

- Detektion: P1-Antwort
- Diskrimination: Schnittstelle P1/N1
- Kategorisierung: P2-Antwort

Innerhalb des auditorisch-neuronalen Netzwerkes sind die räumliche Verarbeitung im dorsalen (Where-Stream) und die Dekodierung komplexerer Parameter (Bedeutungsgebung) im ventralen Pfad (What-Stream) beschrieben (Rauschecker 2005; Kandel et al. 2013, S.704-705).

Die Annahme eines What-Streams konnte im verwendeten 6-Dipol-Modell dieser Arbeit durch die Lokalisation der anterioren P2-Antwort und des im Präfrontalkortex

eher ventral gelegenen BA10 mit den Koordinaten $X = +/- 20$; $Y = +50$; $Z = 0$, Talairach und den dort nachgewiesenen entsprechenden neuronalen Antworten nachvollzogen werden.

Den Blick auf das Ästhetik-Phänomen gerichtet, sieht der Philosoph und Sozialpsychologe George Herbert Mead die „ästhetische Phase des Bewusstseins“ zeitlich zwischen der „Phase der unmittelbaren Wahrnehmung“ und der Phase der „Analyse und Reflexion“ verortet (Mead 1910a, S.79; Mead 1910b, S.63-64; Jank 2011, S.106). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen jedoch, dass die Koaktivierung im BA10 als das am anterioren Ende des What-Streams gelegene kortikale Areal bei Viel-Musizierenden unmittelbar/synchron zur P1-Antwort, das heißt zeitlich vor der N1- und der P2-Antwort erfolgt. Somit ist die BA10-Komponente bei Viel-Musizierenden bereits im primären Kreislauf, der subkortikale, auch emotionale Prozesse bis hin zur primären sensorischen Wahrnehmung beinhaltet, koaktiviert.

Entsprechend besteht die Vermutung, dass es bei Wenig-Musizierenden eine andere hierarchische Struktur gibt, da sich bei ihnen die BA10-Antwort im Laufe des Reifeprozesses zum Zeitpunkt des N1/P2-Komplexes verortet.

Schon Scheich beschreibt differierende Bottom-Up/Top-Down-Prozesse in Abhängigkeit von der Komplexität, aber auch von Lernprozessen (Scheich et al. 2011). Wie in der Einleitung beschrieben nimmt Rauschecker präfrontale Strukturen als entscheidenden qualitativen Unterschied von auditorischen Wahrnehmungsprozessen an (Rauschecker 2012).

Den Präfrontalkortex als „Tor zur bewussten subjektiven Erfahrung“ (Kringelbach 2005, Brown et al. 2011) annehmend, kommt der Abfolge im neuronalen $^{P1}_{BA10}$ -N1-P2-Antwortkomplex sicherlich eine bedeutende Rolle bezüglich eines in der Einleitung mit breitem Bedeutungsinhalt beschriebenen ästhetischen Wahrnehmungsbegriffs zu.

Die Annahme jedoch, dass es sich bei ästhetischer Wahrnehmung um einen (zeitlich) hierarchisierten Ablauf (Popper und Eccles 1977, S.304, Belke und Leeder 2006, Hodges 2013) von Perzeption zu Kognition handelt, kann anhand der oben diskutierten Ergebnisse dieser Arbeit nicht geteilt werden. Vielmehr scheint es sich um ineinander verzahnte multimodale Schleifen perzeptiver, kognitiver, aber auch affektiver, motorischer und homöostatischer Prozesse zu handeln. Wie dargestellt und wie von Scheich (Scheich et al. 2011) bezüglich Komplexitätsgehalt von Hörprozessen beschrieben, sind die Ergebnisse dieser Arbeit ebenfalls so zu interpretieren, dass das Musizieren, aber auch angeborene Faktoren erheblichen Einfluss auf die zeitliche Organisation der ästhetischen Wahrnehmung haben.

Wie bereits erwähnt, fehlen zur Beurteilung des reflektierenden ästhetischen Urteilsprozesses psychometrische Tests. Des Weiteren ist das hier angewandte 6-Dipolmodell nicht geeignet, die Gesamtheit eines komplexen Vorgangs wie das ästhetische Urteilen mit kortikalen und subkortikalen sowie homöostatischen Prozessen abzubilden.

Mehrfach wurde in dieser Arbeit darauf hingewiesen, dass es sich hier um einen Subbereich der Ästhetik, nämlich um Kognition auditorisch-ästhetischer Wahrnehmung, handelt. Dieser kleine Baustein ist jedoch in möglichen Folgearbeiten in das große Netzwerk einzufügen.

4.4 Interdisziplinarität

Bei der hier vorgelegten Arbeit handelt es sich um eine prospektive experimentelle Studie mit einem interdisziplinären Nebenfokus.

Dieser Fokus ist zum einen mit Blick auf den Verfasser dieser Arbeit biographisch erklärbar, zum anderen aber durch die Beobachtung begründbar, dass in sehr vielen neuroästhetischen Untersuchungen – sicherlich notwendigerweise – jeweils nur Teilaspekte ästhetischen Handelns dargestellt werden, ohne jedoch auf die Komplexität des Ästhetik-Begriffs hinzuweisen.

Das Kapitel 1.1 *Ästhetik* dient der Orientierung an der Begriffsbreite von Ästhetik, das Kapitel 1.3 *Neuroästhetik* schließlich gibt einen Überblick über die neuroästhetischen und neuroaudiologischen Forschungsfelder. Somit ist ein umfassender Überblick zur Einordnung des in dieser Arbeit experimentell beleuchteten kleinen Teilaspektes ästhetischen Handelns gewährt.

In dieser Arbeit geht es in keiner Weise darum, eine neurowissenschaftliche Beweisführung philosophischer Thesen zu führen. Es sollten vielmehr Korrelationen zwischen Beobachtung aus der Philosophie und neurowissenschaftlichen Untersuchungen aufgezeigt werden. Entsprechende Korrelationen werden im Folgenden dargestellt:

- Der Vorstellung Hegels (Hegel 1812, S.173) folgend, Ästhetik zwischen den Polen der sinnlichen Wahrnehmung und der Sinnggebung zu sehen, kann man neurologisch im Zusammenspiel von Präfrontalkortex und auditorischem Kortex erkennen.
- Kant sieht das Zusammenspiel zwischen Sinnlichkeit und Verstand nicht als ein gleichberechtigtes Miteinander von „Erkenntnisquellen“, sondern als hierarchischen Prozess, der von der unteren Stufe des Erkenntnisvermögens, der Sinnlichkeit zur höheren Stufe, dem Verstand geführt werden muss, um erkenntniswirksam zu sein (Störig 1950, S.396). Die Ergebnisse dieser neurowissenschaftlichen Arbeit ergeben hingegen wie oben dargestellt das Bild eines komplexen Top-Down und Bottom-Up-Prozesses.

Die oben besprochene Balanciertheit im $P1_{BA10}$ -N1-P2-Komplex beim Hören eines Viel-Musizierenden zeigt eher Korrelationen zur Beobachtung von Friedrich Schiller, der – wie in der Einleitung beschrieben – nicht von einem eigenen Schönheitssinn ausgeht, sondern die Balance zwischen sinnlicher Wahrnehmung (Stofftrieb) und kognitiver Verarbeitung (Formtrieb) (Ehrenforth 2005, S.320) als zentral sieht:

„In dem ersten Fall wird er nie Er selbst, in dem zweyten wird er nie etwas Anderes seyn; mithin eben darum in beyden Fällen keines von beyden folglich – Null seyn.“ (Schiller 1795a, S.52)

- Schon Aristoteles beobachtet einen Zusammenhang zwischen sinnlicher Wahrnehmung und Emotion (Hahmann 2017, S.90). Wie im Kapitel *Neuroästhetik* dargestellt gibt es auch aus neurowissenschaftlichen Erkenntnissen heraus diese Korrelation. Sie wurde innerhalb der Arbeit mehrfach thematisiert (Blood und Zatorre 2001, Kawabata und Zeki 2004, Jacobsen et al. 2006, Chatterjee 2011, Brown et al. 2011, Hodges 2013, S.252), war allerdings nicht Inhalt ihres experimentellen Hauptteils.

- Bereiche im Orbitofrontalkortex sind als modalitätsspezifisch (Brown et al. 2011) beschrieben, doch allgemein wird das BA10 in Zusammenhang mit verschiedenen Sinneswahrnehmungen (Gilbert et al. 2006, Jacobsen et al. 2006, Burgess et al. 2007) beziehungsweise als Teil eines „Default Mode Networks“ (Vessel et al. 2012) dargestellt. Die Beteiligung
 - an moralischen, sozialen (Greene et al. 2001, Moll et al. 2001, Johnson et al. 2002, Cunningham et al. 2003, Jacobsen et al. 2006) und ästhetischen Urteilen (Jacobsen et al. 2006),
 - an der Integration von Informationen (Badre und Wagner 2004; Gilbert et al. 2006; Wolfensteller und von Cramon 2011, Dumontheil 2014),
 - an unschematisierten Handlungen (Christoff und Gabrieli 2000, Amati und Shallice 2007, Dumontheil 2014),
 - an der Reaktionsbalance zwischen stimulusabhängigen und -unabhängigen Reizen (Dumontheil 2014),
 - am Lenken von Aufmerksamkeit (Gilbert et al. 2006),
 - am Planen und Abschätzen von zukünftigen Handlungen (Gilbert et al. 2006),
 - beim Treffen von Entscheidungen (Dumontheil 2014),
 - an analogem und relativem Begründen (Crone 2009, Dumontheil 2014),
 - an Internalisierungsprozessen (Gilbert et al. 2006) und
 - an Situationen, in denen die Bewertung nicht alleine von der bereits bestehenden eigenen Meinung abhängig ist,

macht das BA10 zu einem möglichen neurologischen Korrelat des Sensus communis (Kant 1790, S.293.30-296.24; Kirchner 1911, S.905; Gadamer 1960, S.24 ff; Ehrenforth 2005, S.319; Kerkhecker 2011, S.18) im Sinne des Neuhumanismus (Gadamer 1960, S.24 ff.; Ehrenforth 2005, S.319; Figal 2011, S.18).

Der Beantwortung der sicherlich wichtigen Frage nach dem wissenschaftlichen Wert solcher interdisziplinären Beobachtungen, sei eine Definition des Begriffs der „Abschattung“ aus Edmund Husserls Phänomenologie vorangestellt:

„[Abschattung] besagt die Gegebenheitsweise des physischen Dinges (der Realität überhaupt) in einseitigen Erscheinungsabwandlungen [...]. Dabei muß die A. als Erlebnis vom Abgeschatteten als solchem, das heißt vom identischen Ding als Gegenstand der Wahrnehmung unterschieden werden [...].

Die Erscheinungsabwandlungen sind bezogen auf die wechselnde Orientierung, die Wahrnehmungsgegenstand und Betrachter zueinander einnehmen können. Der Orientierungswechsel kann sowohl durch die Bewegung des Dinges als auch durch die Wahrnehmungsaktivität (Kinästhesie) des Betrachters hervorgerufen werden. Der Begriff der A. dient zunächst dazu, die Gegebenheitsweise der Realität von der des Erlebnisses (Bewußtsein) zu scheiden. [...].

In phänomenologischer Einstellung gewinnen die Erscheinungsabwandlungen den Charakter derjenigen noetischen Mannigfaltigkeit, die in ihrer Synthesis den vermeinten Wahrnehmungsgegenstand als solchen konstituiert.“ (Ritter et al. 2017)

Zu Beginn dieser Arbeit wurde auf die Unterscheidung der Begriffe *aísthēsis* (Sinn, Sinneswahrnehmung oder Sinneswerkzeug (Gemoll und Vretska 2004, S.20)) und *nous* (Sinn, geistige Wahrnehmung, Verstand und Vermögen des Wollens (Gemoll und

Vretska 2004, S.524)) hingewiesen. Kant verwendet in seinen philosophischen Betrachtungen das Substantiv Noumenon (Störig 1950, S.396) synonym mit dem „Ding an sich“, eine rein verstandesmäßige Erkenntnis, dessen vollständige Erkenntnis die Phänomenologie unter anderem durch das Phänomen der Abschattung als unmöglich erachtet (Bernet 1978, S.253).

Der Anspruch so unterschiedlicher Wissenschaften wie Neurologie und Philosophie sollte nicht darin bestehen, die jeweils andere Disziplin vollständig zu erklären, sondern einen anderen Blickwinkel auf ein Phänomen wie zum Beispiel „Ästhetik“ zu gewähren:

„Naturwissenschaften und Philosophie sind wichtige kulturelle Unternehmen, die ganz unterschiedliche Funktionen erfüllen. Beide helfen auf ihre Weise, dass Menschen sich in der Welt handelnd zurechtfinden.“ (Sieroka 2009)

4.5 Schlussfolgerung

4.5.1 Kritische Reflexion

Das Zusammenführen unterschiedlicher Disziplinen wirft sicherlich viele (nicht zuletzt methodische) Fragen auf, für deren Beantwortung in dieser Arbeit keine Lösung gefunden werden konnte. Dies war jedoch an dieser Stelle auch nicht der Anspruch.

Diese Arbeit untersuchte lediglich einen kleinen Baustein (die Verbindung von auditorischer Wahrnehmung und Kognition) eines multimodalen synästhetischen Netzwerks. Hier sind – wie im Ergebnisteil und wie im bisherigen Verlauf der Diskussion dargestellt – mittels 6-Dipol-Modells signifikante Ergebnisse erzielt worden.

Die Beschränkung auf einen Parameter des Ästhetik-Konstrukts (Kognition) im experimentellen Teil der Arbeit birgt durchaus die Gefahr des Nicht-Bemerkens großer Zusammenhänge und falscher kausaler Folgerungen. Neben einer eventuellen Gewährleistung von (experimenteller) Handlungsfähigkeit ist jedoch dadurch – wie hier bewiesen – eine feine Detailarbeit möglich.

Bertold Brecht berichtet von ähnlichem Für und Wider im Aufsatz „Über das Zerpflücken von Gedichten“ (Brecht 1967) in Zusammenhang mit Gedichtinterpretationen:

„Der Laie hat für gewöhnlich, sofern er ein Liebhaber von Gedichten ist, einen lebhaften Widerwillen gegen das, was man das Zerpflücken von Gedichten nennt, ein Heranführen kalter Logik, Herausreißen von Wörtern und Bildern aus diesen zarten blütenhaften Gebilden. Demgegenüber muß gesagt werden, daß nicht einmal Blumen verwelken, wenn man in sie hineinsticht. Gedichte sind, wenn sie überhaupt lebensfähig sind, ganz besonders lebensfähig und können die eingreifendsten Operationen überstehen. [...] Das Herausspüren schlechter Verse ist die Kehrseite einer Fähigkeit, ohne die von wirklicher Genußfähigkeit an Gedichten überhaupt nicht gesprochen werden kann, nämlich der Fähigkeit, gute Verse herauszuspüren. [...] Der Laie vergißt, wenn er Gedichte für unnahbar hält, daß der Lyriker zwar mit ihm jene leichten Stimmungen, die er haben kann, teilen mag, daß aber ihre Formulierung in einem Gedicht ein Arbeitsvorgang ist und das Gedicht eben etwas zum Verweilen gebrachtes Flüchtiges ist, also etwas verhältnismäßig Massives,

Materielles. [...] In der Anwendung von Kriterien liegt ein Hauptteil des Genusses. Zerpflücke eine Rose und jedes Blatt ist schön.“ (Brecht 1967, S.392-293)

Der Nebenaspekt der Arbeit, sich dem Sujet auch aus anderen Wissenschaftsbereichen (insbesondere der Philosophie und Pädagogik) zu begegnen, ist durch die umfassende Herleitung des Begriffs „Ästhetik“ und der Darstellung der Genese des neuroästhetischen Ansatzes sicherlich erfolgreich umgesetzt.

In der hier vorliegenden Arbeit war der gedankliche Ausgangspunkt des Verfassers, der eine musikalisch-künstlerische Professionalisierung als Hintergrund hat, die Frage nach neurologischen Beobachtungen bezüglich des künstlerischen Handelns und hier speziell des Musizierens.

Der Klärung der Bedeutungsbreite des Begriffs „Ästhetik“ folgten die kontextuelle Darstellung neurologischer Forschungsergebnisse und die Beschreibung, Auswertung und Interpretation eines eigenen experimentellen Settings.

Da Ästhetik ursprünglich ein philosophisches Konstrukt (Seel 200, S.28 ff.; Welsch 2021, S.37 ff.) war und dieses Konstrukt wechselseitig als Vehikel genutzt wurde (so ist künstlerisches Wirken seitens der Philosophie das geeignete Medium, Ästhetik erfahrbar zu machen; andererseits galt beziehungsweise gilt das Ästhetik-Konstrukt als wichtiges Phänomen, um die gesellschaftliche Legitimation der Künste zu sichern) (Seel 200, S.29 ff.; Welsch 2021, S.5 ff., 16, 20, 49 ff.), soll an dieser Stelle – in der kritischen Reflexion der Arbeit – nun auch die rückbezügliche Überprüfung der Tragfähigkeit von Ästhetik für die Künste in den Fokus rücken:

Transformation des Ästhetik-Konstrukts in die Künste

Obwohl weder ein einheitlicher Begabungsbegriff in der Psychologie (Gembris 2014, S.188) noch ein einheitlicher Musikbegriff in der Musikwissenschaft (Spychiger und Hechler 2014, S.28-29) existiert, gehören motorische, geistige, emotionale und kreative Fähigkeiten beziehungsweise Fertigkeiten zu allgemeingültigen Parametern musikalischer Begabung (Gembris, 2002, S.66-100).

Die emotionalen Aspekte musikalischer Begabung beinhalten nicht nur die Kompetenz, Musik selbst emotional zu erfahren, sondern auch durch das eigene Musizieren Zuhörer zu berühren (Altenmüller und Kopiez 2013).

Wie oben beschrieben ist die emotionale neuronale Antwort unmittelbar und eher unbewusst. Bestrebungen, den Wert ästhetischer Erfahrung allein über das Reflexionsvermögen zu messen (Vogt 2004, Rolle 2008), wird dieser wichtigen unmittelbaren, unbewussten emotionalen Reaktion nicht gerecht.

Und hier sind nun auch die Grenzen des Ästhetik-Konstruktes in Bezug auf künstlerisches Handeln zu erkennen, denn künstlerisches Handeln lebt von Intuition, von der Faszination und der Unmittelbarkeit des Augenblicks und Ästhetik vom Erhabenen – wie Kant aufzeigt (Kant 1790b, Chatterjee 2011).

Heinrich von Kleist spricht in seinem Essay „Über das Marionettentheater“ (Kleist 1810, S.9-17) zur Verletzbarkeit dieser Faszination geradezu eine Warnung aus. Zu Beginn des Essays verzaubert der Marionettenspieler durch sein instinktives, anmutiges Puppenspiel die Zuschauer (Kleist 1810, S.9-10). In einem Gespräch zwischen dem

Erzähler und dem Marionettenspieler entwickelt sich die Erkenntnis, dass das Bewusstwerden seines Tuns letztendlich zu dessen Entzauberung führt. Schlussfolgernd heißt es:

„Mithin, sagte ich ein wenig zerstreut, müssten wir wieder von dem Baum der Erkenntnis essen, um in den Stand der Unschuld zurückzufallen? – Allerdings, antwortete er; das ist das letzte Kapitel von der Geschichte der Welt.“

(Kleist 1810, S.17)

4.5.2 Ausblick

Gerade mit Blick auf die große Bedeutungsbreite von Ästhetik wäre es wichtig, die Ergebnisse dieser Arbeit sowie die Ergebnisse vieler neuroästhetischer Einzelstudien zu verschiedenen Aspekten des Phänomens „Ästhetik“ in einen größeren neurowissenschaftlichen aber auch transdisziplinären Kontext zu stellen.

Die Arbeit beschränkt sich jedoch – mit Blick auf den in einer Dissertationsschrift möglichen Arbeitsumfang – methodisch im Wesentlichen auf MEG-Untersuchungen sowie hörakustische Testungen.

Neurowissenschaftlich wäre es nun wichtig, zum einen zusätzliche fMRT-Studien durchzuführen, um die Vernetzung des auditorischen Kortex und des BA10-Areals detaillierter auswerten zu können, zum anderen aber auch neuroendokrinologische Aspekte mit in den Fokus zu nehmen (Stangl 1989, Brown et al. 2011, Tewes 2021).

Hinsichtlich der behavioralen Untersuchung des Phänomens ist es unabdingbar, valide, reliable und objektive Tests zu den dargestellten Kriterien von Ästhetik zu entwickeln, um spezifische psychometrische Tests neben den neurowissenschaftlichen Messungen als Untersuchungsmethode bereitzustellen.

5. Zusammenfassung

Ästhetik ist ein Phänomen, welchem sich in den vergangenen fast zweieinhalb Jahrtausenden Forscher aus vielen wissenschaftlichen Disziplinen gewidmet haben. Eine recht junge Wissenschaft – die Neuroästhetik – sucht seit dem Ende des 20. Jahrhunderts neuronale Aspekte dieses Phänomens. Im Forschungsfeld der Neuroästhetik wird in Studien hinsichtlich des ästhetischen Wahrnehmens und Urteilens mehrheitlich eine Koaktivierung im BA10 genannt.

Auf Grundlage des aktuellen Forschungsstands zu neurologischen Untersuchungen des auditorischen Kortex mittels MEG und MRT, im Besonderen an der Neurologischen Klinik der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, wurde zur Auswertung der erhobenen MEG-Daten für diese Arbeit ein 6-Dipol-Modell entwickelt, mit welchem Korrelationen zwischen der Stimulation des Hörkortex und der Koaktivierung im BA10 nachgewiesen werden konnten. Zur räumlichen Verifizierung der Koaktivierung wurden fMRI-Untersuchungen exemplarisch ausgewertet.

162 Probanden wurden für diese Arbeit vier Altersgruppen (Kinder, Jugendliche, junge und ältere Erwachsene) zugewiesen. Die jeweiligen Altersgruppen wurden wiederum in zwei Subgruppen von Viel- und Wenig-Musizierende geteilt, um somit Reife- und Expertiseneffekte auf die Koaktivierung des BA10 bei auditiver Stimulation zu untersuchen.

Begleitend zu den neurologischen Messungen wurden hörakustische Tests mit den Probanden durchgeführt. Die Testungen bestanden zum einen aus Gordons AMMA- (für Teilnehmer über 10 Jahren) beziehungsweise IMMA- (für Teilnehmer von 6 bis 9 Jahren) Tests. AMMA/IMMA-Tests sind in mehreren Studien als valide Prädiktoren für musikalische Leistungsfähigkeit ausgewiesen, wobei man einen größeren Begabungsfaktor und einen geringeren Trainingseffekt annimmt. Als weiterer behavioraler Parameter wurde mittels I_{MP} die Intensität der musikalischen Praxis erhoben. Die hörakustischen Tests erwiesen sich als guter Ersatz-Prädiktor für fehlende psychometrische Ästhetik-Testungen.

Die Ausgangsfrage nach Korrelationen zwischen einer auditiven Stimulation und einer Koaktivierung im BA10 konnte zusammengefasst wie folgt beantwortet werden:

Das BA10 erwies sich in den Untersuchungen dieser Arbeit zwar hinsichtlich des Zeitpunkts (Latenz), nicht jedoch hinsichtlich ihrer Intensität (Amplitude) als signifikante Messgröße.

Zur Latenz im BA10 wurden folgende Signifikanzen aufgezeigt:

- Die Latenz der Koaktivierung im BA10 zeigt sich bei Gruppenvergleichen der unterschiedlichen Altersgruppen und bei Gruppenvergleichen von Viel- und Wenig-Musizierenden bezüglich Reife und musikalischer Expertise signifikant.
- Die intrahemisphärische Synchronisation zwischen P1- und BA10-Antwort, die über den Latenzdifferenzwert von P1/BA10 erhoben wurde, ist ebenfalls über alle Altersgruppen und im Gruppenvergleich von Viel- und Wenig-Musizierenden signifikant. Eine rechtshemisphärisch detektierte Signifikanz im Gruppenvergleich von Viel- und Wenig-Musizierenden Kindern erwies sich jedoch nach Bonferroni-Holm-Korrektur als nicht stabil.

5. Zusammenfassung

- Signifikante Korrelationen zwischen BA10-Latenz und der Amplitude der P2-Antwort wurde detektiert.
- Die BA10-Latenz weist des Weiteren signifikante Korrelationen zu allen erhobenen hörakustischen Tests auf.

Die durchschnittliche Latenz der Koaktivierung im BA10 ist eine Variable, die auch absolut betrachtet Unterschiede zwischen Viel- und Wenig-Musizierenden zeigt, das heißt die durchschnittliche Latenz der musikalisch aktiven Kinder ist schneller als die der wenig musizierenden Erwachsenen, obwohl man annimmt, dass die Antwortgeschwindigkeiten im Präfrontalkortex erst mit zunehmender Reife akzelerieren.

Die stark unterschiedlichen Latenzen bei Viel- und Wenig-Musizierenden führen zu unterschiedlichen zeitlichen Ordnungen zwischen den primären/sekundären Antworten und der Koaktivierung im BA10 in diesen Gruppen. Während bei Vielmusizierenden die Chronologie im Laufe der Reifung einen $P1_{BA10}$ -N1-P2-Komplex ausweist, entwickelt sich bei Wenig-Musizierenden im Laufe der Reifung einen $P1_{BA10}$ -N1-P2-Antwortkomplex. Somit ist die BA10-Komponente bei Viel-Musizierenden bereits im primären Kreislauf, der subkortikale, auch emotionale Prozesse bis hin zur primären sensorischen Wahrnehmung beinhaltet, koaktiviert.

Anhand der aktuellen Forschungslage und der hier vorgelegten Ergebnisse wird vermutet, dass es sich beim Verhältnis zwischen sinnlicher Wahrnehmung und Kognition in musikalisch-ästhetischen Wahrnehmungsprozessen nicht um einen hierarchischen Bottom-Up oder Top-Down-Prozess, sondern eher um eine multimodale Integration handelt.

Dem interdisziplinären Zugang von Neuroästhetik ging diese Arbeit in der Einleitung mit der ausführlichen Herleitung der Bedeutungsbreite des Ästhetik-Begriffs nach. In der Darstellung der Zusammenhänge der Bedeutungsbreite wurden unter anderem unterschiedliche philosophische Betrachtungen zum Ästhetik-Konstrukt aufgezeigt und hier ein Schwerpunkt in den Betrachtungen von Kant und Schiller gewählt.

In diesem Zusammenhang zeigen die diskutierten neuronalen Ergebnisse eher Korrelationen zur balancierten Darstellung ästhetischen Erlebens bei Schiller als zum hierarchisch organisierten Modell Kants.

In weiterführenden Untersuchungen muss diese Arbeit in den großen Kontext emotionaler, kognitiver, motorischer und homöostatischer Prozesse ästhetischen Erlebens überführt werden.

Diese Ergebnisse müssten wiederum transdisziplinär diskutiert werden, um so in andere Wissenschafts- und Praxisbereiche wie zum Beispiel ästhetisches Handeln aus der pädagogischen Perspektive strahlen zu können.

Das Ästhetik-Konstrukt wurde in der Vergangenheit jedoch schon häufig – wie in der Einleitung der Arbeit dargestellt – aus seinen Wurzeln in der Philosophie herausgelöst und als Lehn-Parameter in anderen Wissenschaften benutzt.

Literaturverzeichnis

- Allesch, C. G.* (2008): **Resonanz als Sinnbild ästhetischer Erfahrung**, Vortrag im Rahmen des Braunschweiger Ästhetik-Kolloquiums „Resonanz“. https://www.uni-salzburg.at/fileadmin/oracle_file_imports/1751270.PDF [01.01.2021].
- Altenmüller, E.; Kopiez, R.* (2013): **Starke Emotionen und Gänsehaut beim Musikhören: Evolutionäre und musikpsychologische Aspekte**, Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Hörkultur“, 2012, Berlin. In: Diller, G. (Herausgeber): Zeitschrift für Audiologie, Sonderheft Nr. 1, Median-Verlag Heidelberg, S.55-62. https://www.immm.hmtm-hannover.de/fileadmin/www.immm/Publikationen/Altenmueller_Kopiez_Emotion_Geers.2012pdf.pdf [14.01.2021].
- Amati, D.; Shallice, T.* (2007): **On the emergence of modern humans**. In: Cognition 103, S.358-385. DOI: 10.1016/j.cognition.2006.04.002.
- Aristoteles* (ohne Jahr); *Schwarz, F. F.* (Herausgeber, Übersetzer) (2013): **Metaphysik**; Schriften zur Ersten Philosophie. Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart.
- Aristoteles* (ohne Jahr); *Krapinger, G.* (Herausgeber, Übersetzer) (2016): **Über die Seele**; Griechisch/Deutsch. Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart.
- Badre, D.; Wagner A. D.* (2004): **Selection, Integration, and Conflict Monitoring: Assessing the Nature and Generality of Prefrontal Cognitive Control Mechanisms**. In: Neuron 41, Februar 2004, S.473-487. DOI: 10.1016/S0896-6273(03)00851-1.
- Badre, D.* (2008): **Cognitive control, hierarchy, and the rostro-caudal organization of the frontal lobes**. In: Trends in cognitive sciences 12 (5), S.193-200. DOI: 10.1016/j.tics.2008.02.004.
- Belke, B.; Leder, H.* (2006): **Annahmen eines Modells der ästhetischen Erfahrung aus kognitionspsychologischer Perspektive**. In: Sonderforschungsbereich 626 (Herausgeber): Ästhetische Erfahrung: Gegenstände, Konzepte, Geschichtlichkeit, 626, Berlin.
- Benner, J.; Wengenroth, M.; Reinhardt, J.; Stippich, C.; Schneider, P.; Blatow, M.* (2017): **Prevalence and function of Heschl's gyrus morphotypes in musicians**. In: Brain structure & function 222 (8), S.3587-3603. DOI: 10.1007/s00429-017-1419-x.
- Benner, J.; Schneider, P.* (2019): **Das innere Ohr. Absolutes und relatives Gehör**. In: Ruperto Carola Forschungsmagazin 19, S.37-44. DOI: 10.17885/heiup.ruca.2019.14.23972.
- Bernet, R.* (1978): **Endlichkeit und Unendlichkeit in Husserls Phänomenologie der Wahrnehmung**. In: Tijdschrift Voor Filosofie 40 (1), S.251-269.
- Betzler, M.; Nida-Rümelin, J.* (Herausgeber) (2012): **Ästhetik und Kunstphilosophie**. Von der Antike bis zur Gegenwart in Einzeldarstellungen. Zweite aktualisierte und ergänzte Auflage, Kröner, Stuttgart.
- Blatow, M.; Reinhardt, J.; Benner, J.; Christiner, M.; Wengenroth, M.; Stippich, C.; Schneider, P.* (submitted 2021): **Temporal hierarchy of cortical responses reflects core-belt-parabelt organization of human auditory cortex**. In: Cerebral Cortex.
- Blood, A. J.; Zatorre, R. J.* (2001): **Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion**. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98 (20), S.11818-11823. DOI: 10.1073/pnas.191355898.
- Brattico, E.; Pearce, M.* (2013): **The Neuroaesthetics of Music**. In: Psychology of Aesthetics Creativity and the Arts 7 (1), Februar 2013, S.48-61. DOI: 10.1037/a0031624.
- Braver, T. S.; Bongiolatti, S. R.* (2002): **The role of frontopolar cortex in subgoal processing during working memory**. In: NeuroImage 15, S.523-536. DOI: 10.1006/nimg.2001.1019.
- Brecht, B.* (1967): **Gesammelte Werke in 20 Bänden: 19. Band: Schriften zur Literatur und Kunst 2**. Suhrkamp, Frankfurt.
- Brown, S.; Gao, X.; Tisdelle, L.; Eickhoff, S. B.; Liotti, M.* (2011): **Naturalizing aesthetics: brain areas for aesthetic appraisal across sensory modalities**. In: NeuroImage 58 (1), S.250-258. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.06.012.
- Buchheim, T.* (2015): **Aristoteles Theorie der Seele und des Geistes (De anima): Zum Phänomen der Wahrnehmung (Teil I)**. Vortrag an der Fakultät für Philosophie, Wissenschaftstheorie und Religionswissenschaft - LMU München (uni-muenchen.de).

https://www.philosophie.uni-muenchen.de/studium/vlvideos/vl_buchheim_deanima/index.html.
[01.01.2021].

Burgess, P. W.; Scott, S. K.; Frith, C. D. (2003): **The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: A lateral versus medial dissociation.** In: *Neuropsychologia* 39, S.545-555.
DOI: 10.1016/s0028-3932(02)00327-5.

Burgess, P. W.; Dumontheil, I.; Gilbert, S. J. (2007): **The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function.** In: *Trends in cognitive sciences* 11 (7), S.290-298. DOI:
10.1016/j.tics.2007.05.004.

Chatterjee, A. (2011): **Neuroaesthetics: a coming of age story.** In: *Journal of cognitive neuroscience* 23 (1),
S.53-62. DOI: 10.1162/jocn.2010.21457.

Christoff, K.; Gabrieli, J. (2000): **The frontopolar cortex and human cognition: Evidence for a rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex.** In: *Psychobiology*
28(2), S.168-186.
DOI: 10.3758/BF03331976.

Christoff, K.; Prabhakaran, V.; Dorfman, J.; Zhao, Z.; Kroger, J. K.; Holyoak, K. J.; Gabrieli, J. D.
(2001): **Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relational integration during reasoning.**
In: *Neuroimage* 14,
S.1136-1149. DOI: 10.1006/nimg.2001.0922.

Christoff, K.; Ream, J. M.; Geddes, L. P. T.; Gabrieli, J. (2003): Evaluating self-generated information:
anterior prefrontal contributions to human cognition. In: *Behavioral Neuroscience* Dezember 2003, 117
(6), S.1161-1168. DOI: **10.1037/0735-7044.117.6.1161.**

Crone, E. A. (2009): Executive functions in adolescence: inferences from brain and behavior. In:
Developmental Science Review 12 (6), November 2009, S.825-830. DOI: **10.1111/j.1467-
7687.2009.00918.x.**

Cunningham, W. A.; Johnson, M. K. ; Gatenby, J. C.; Gore, J. C.; Banaji, M. R. (2003): **Neural
components of social evaluation.** In: *Journal of Personality and Social Psychology* 85 (4), S.639-
649.
DOI: 10.1037/0022-3514.85.4.639.

Cunningham, W. A.; Raye, C. L.; Johnson, M. K. (2004): **Implicit and explicit evaluation: fMRI
correlates of valence, emotional intensity, and control in the processing of attitudes.** In: *Journal
of cognitive neuroscience* 16 (10), S.1717-1729. DOI: 10.1162/0898929042947919.

Dewey, J. (1988): **Kunst als Erfahrung.** 9. Auflage. Suhrkamp, Frankfurt am Main.

Di Cinzia, D.; Vittorio, G. (2009): **Neuroaesthetics: a review.** In: *Current opinion in neurobiology* 19
(6),
S.682-687. DOI: 10.1016/j.conb.2009.09.001.

Dudenredaktion (2003): **Das Wörterbuch medizinischer Fachausdrücke.** 7. Auflage, Dudenverlag,
Mannheim.

Dudenredaktion (ohne Jahr): „**Ästhetik**“ auf Duden online.
<https://www.duden.de/node/3192/revision/3218>. [03.02.2021].

Dumontheil, I. (2014): **Development of abstract thinking during childhood and adolescence: the
role of rostrolateral prefrontal cortex.** In: *Developmental cognitive neuroscience* 10, S.57-76.
DOI: 10.1016/j.dcn.2014.07.009.

Erdfelder, E.; Buchner, A.; Faul, F.; Brandt, M. (2004): **GPOWER: Teststärkeanalysen leicht
gemacht.** In: E. Erdfelder, E.; Funke, J. (Herausgeber): *Allgemeine Psychologie und deduktivistische
Methodologie*, S.148-166. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

Ehrenforth, K. H. (2005): **Geschichte der musikalischen Bildung.** Eine Kultur-, Sozial- und
Ideengeschichte in 40 Stationen: von den antiken Hochkulturen bis zur Gegenwart. Schott, Mainz,
2005.

Fechner, G. T. (1860): **Elemente der Psychophysik.** Breitkopf & Härtel, Leipzig, 1860.
<https://books.google.de/books?id=6rINAAAAYAAJ>. [06.02.2021].

Fechner, G. T. (1876): **Vorschule der Ästhetik, Teil I.** Breitkopf & Härtel, Leipzig, 1876.
<http://mdz-nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:12-bsb11334540-0>. [01.01.2021].

- Figal, G.* (2012): **Hans-Georg Gadamer: Wahrheit und Methode.** Akademie Verlag, Berlin.
- Fuster, J. M.* (1997): **The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe.** In: Lippincott-Raven, Philadelphia, S.373-385.
- Gadamer, H.-G.* (1960): **Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik.** 7. Auflage, Mohr Siebeck, Stuttgart.
- Gembris, H.* (2002): **Grundlagen musikalischer Begabung und Entwicklung.** 2. Auflage, Wissner, Augsburg.
- Gembris, H.* (2014): **Musikalische Begabung und Talent in der Lebenszeitperspektive.** In: Gruhn, W.; Seither-Preisler, A. (2014): *Der musikalische Mensch*, Olms, Hildesheim, S.184-218.
- Gemoll, W.; Vretska, K.* (2004): **Griechisch-deutsches Schul- und Handwörterbuch.** 9. Auflage, [Nachdruck]. Öbv & hpt-Verlags-Gesellschaft, Wien.
- Gilbert, S. J.; Spengler, S.; Simons, J. S.; Steele, J. D.; Lawrie, S. M.; Frith, C. D.; Burgess, P. W.* (2006): **Functional specialization within rostral prefrontal cortex (area 10): a meta-analysis.** In: *Journal of cognitive neuroscience* 18 (6), S.932-948. DOI: 10.1162/jocn.2006.18.6.932.
- Goethe, J. W. von* (1796); *Hagner, J.* (Herausgeber) (2007): **Wilhelm Meisters Lehrjahre,** Originalausgabe. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Gordon, E.* (1986): **Musikalische Begabung. Beschaffenheit, Beschreibung, Messung und Bewertung.** Schott, Mainz.
- Gordon, E.* (1989): **Audiation, Music Learning Theory, Music Aptitude and Creativity.** In: *Suncoast Music Education Forum on Creativity*, S.75-81. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED380341.pdf>. [16.03.2021]
- Gordon, E.* (1997): **Learning sequences in music.** 3. Auflage. GIA Publications, Chicago.
- Gordon, E.* (1998): **Introduction to research and the psychology of music.** GIA Publications, Chicago.
- Greene, J. D.; Sommerville, R. B.; Nystrom, L. E.; Darley, J. M.; Cohen, J. D.* (2001): **An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment.** In: *Science* September 2001, 293 (5537), S.2105-2108. DOI: 10.1126/science.1062872.
- Gruhn, W.; Seither-Preisler, A* (Herausgeber) (2014): **Der musikalische Mensch. Evolution, Biologie und Pädagogik musikalischer Begabung.** Olms, Hildesheim.
- Hackett, T. A.; Stepniewska, I.; Kaas, J. H.* (1998): **Thalamocortical connections of the parabelt auditory cortex in macaque monkeys.** In: *Journal of Comparative Neurology* 400 (2), S.271-286. DOI: 10.1002/(sici)1096-9861(19981019)400:2<271::aid-cne8>3.0.co;2-6.
- Hahmann, A.* (2016): **Aristoteles' "Über die Seele".** Ein systematischer Kommentar. Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart.
- Hallam, S.; Cross, I.; Thaut, M.* (Herausgeber) (2016): **The Oxford handbook of music psychology.** 2. Auflage, Oxford University Press, Oxford, New York.
- Hegel, G. W. F.* (1812); *Moldenhauer, E.; Michel, K. M.* (2010): **Vorlesung über die Ästhetik 1;** Werke in 20 Bänden. Band 13. Wissenschaft der Logik. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Hodges, D. A.* (2016): **The neuroaesthetics of music.** In: Hallam, S.; Cross, I.; Thaut, M. (Herausgeber): *The Oxford handbook of music psychology*, 2. Auflage, Oxford University Press, Oxford, New York, S.247-262.
- Hohmann, A.* (2014): **Begabungsforschung im Sport.** In: Gruhn, W.; Seither-Preisler, A (2014): *Der musikalische Mensch*, Olms, Hildesheim, S.219-254.
- Jacobsen, T.; Schubotz, R. I.; Höfel, L.; Cramon, D. Y. V.* (2006): **Brain correlates of aesthetic judgment of beauty.** In: *NeuroImage* 29 (1), S.276-285. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.07.010.
- Johnson, S. C.; Baxter, L. C.; Wilder, L.S.; Pipe, J. G.; Heisermann, J. E.; Prigatano, G. P.* (2002): **Neural correlates of self-reflection.** In: *Brain* 125 (8), August 2002, S.1808-1814. DOI: 10.1093/brain/awf181.
- Jank, W.* (2011): **Verstehen von Musik oder Teilhabe an musikalischen Praxen? Aspekte eines Paradigmenwechsels.** In: Eichhorn, A.; Schneider, R. (Herausgeber): *Musik – Pädagogik – Dialoge*, Festschrift für Thomas Ott. Allitera, München.

- Jank, W. (Herausgeber) (2013): **Fachdidaktik / Musik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II**. 5. überarbeitete Auflage, Cornelsen, Berlin.
- Juslin, P. (2013): **From everyday emotions to aesthetic emotions: towards a unified theory of musical emotions**. In: *Physics of Live Reviews* 10 (3), September 2013, S.235-266. DOI: 10.1016/j.plrev.2013.05.008.
- Kandel, E. (Herausgeber) (2013): **Principles of neural science**. 5. Auflage, Robinson, London.
- Kant, I. (1785): **Grundlegung zur Metaphysik der Sitten**. Anaconda, 2016, Köln.
- Kant, I. (1787a): **Kritik der reinen Vernunft**. 2. Auflage 1787. Studienausgabe, Nachdruck der Ausgabe 1968; Unveränderter photomechanischer Abdruck des Textes der von der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1902 begonnenen Ausgabe von Kants gesammelten Schriften, de Gruyter (Kants Werke, Akademie-Textausgabe, Bd. 3) Berlin.
- Kant, I. (1787b): **Kritik der reinen Vernunft**. Edition Holzinger, 2013, Berlin.
- Kant, I. (1788): **Kritik der praktischen Vernunft**. Anaconda, 2011, Köln.
- Kant, I. (1790a): **Kants Werke**. Studienausgabe, Nachdruck der Ausgabe 1968; Unveränderter photomechanischer Abdruck des Textes der von der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1902 begonnenen Ausgabe von Kants gesammelten Schriften, de Gruyter (Kants Werke, Akademie-Textausgabe, Bd. 5), Berlin.
- Kant, I. (1790b): **Kritik der Urteilskraft**. Anaconda, 2015, Köln.
- Kawabata, H.; Zeki, S. (2004): **Neural correlates of beauty**. In: *Journal of neurophysiology* 91 (4), S.1699-1705. DOI: 10.1152/jn.00696.2003.
- Keller, D. (2013): **Neuroaesthetics**. In: *The British Journal of Aesthetics* 53 (1), Januar 2013, S.125-129. DOI: 10.1093/aesthj/ayq012.
- Kerkhecker, A. (2011): **Bedeutung der humanistischen Tradition für die Geisteswissenschaften**. In: Figal, G. (2012): *Hans-Georg Gadamer: Wahrheit und Methode*. Akademie Verlag, Berlin, S.7-24.
- Kern, A. (2000): **Schöne Lust. Eine Theorie der ästhetischen Erfahrung nach Kant**. 1. Auflage, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Kirchner, F.; Michaëlis, C. (1911): **Kirchners Wörterbuch der philosophischen Grundbegriffe**. 6. Auflage, dritte Neubearbeitung, Philosophische Bibliothek, Leipzig.
- Kleist, H. von (1810): **Über das Marionettentheater**. Studienausgabe 2013. Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart.
- Kneiter, G. (1971): **The nature of aesthetic education**. In: *Toward an aesthetic education*, S. 1-19, Washington.
- Koechlin, E.; Basso, G.; Pietrini, P.; Panzer, S.; Grafman, J. (1999): **The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition**. In: *Nature* 399, S.148-151. DOI: 10.1016/j.tics.2010.01.002.
- Koechlin, E.; Ody, C.; Kouneither, F. (2003): **The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex**. In: *Science* 302 (5648), S.1181-1185. DOI: 10.1126/science.1088545.
- Koelsch, S. (2010): **Towards a neural basis of music-evoked emotions**. In: *Trends in cognitive sciences* 14 (3), S.131-137. DOI: 10.1038/20178.
- Kraus, N.; Trent, N. (2005): **Brainstem origins for cortical 'what' and 'where' pathways in the auditory system**. In: *Trends in Neurosciences* 28 (4), April 2005, S.176-181. DOI: 10.1016/j.tins.2005.02.003.
- Kraus, N.; Chandrasekaran, B. (2010): **Music training for the development of auditory skills**. In: *Nature Review Neuroscience* 11, August 2010, S.599-605. DOI: 10.1038/nrn2882.
- Kraus, N.; Anderson, S. (2014): **Music Benefits Across Lifespan: Enhanced Processing of Speech in Noise**. In: *Hearingreview.com*, August 2014. <https://www.hearingreview.com/hearing-loss/patient-care/pediatric-care/music-benefits-across-lifespan-enhanced-processing-speech-noise>. [07.02.2021]
- Kraus, N.; Anderson, S.; White-Schwoch, T.; Fay, R. R.; Popper, A. N. (2017): **The frequency-following response. A window into human communication**. ASA Press, Springer, Cham (Schweiz).

- Kringelbach, M. L.* (2005): **The human orbitofrontal cortex: linking reward to hedonic experience.** In: *Nature Reviews Neuroscience* 6, S.691-702. DOI: 10.1038/nrn1747.
- Leder, H.; Belke, B.; Oeberst, A.; Augustin, D.* (2004): **A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments.** In: *British journal of psychology* 95 (4), S.489-508. DOI: 10.1348/0007126042369811.
- Lehmann, A. C.; Gruber, H.* (2014): **Zielgerichtete Übung und Begabung. Zwanzig Jahre nach Ericsson, Krampe & Tesch Römer (1993).** In: *Gruhn, W.; Seither-Preisler, A.* (2014): *Der musikalische Mensch*, Olms, Hildesheim, S.87-107.
- Lemmermöhle, D.; Hasselhorn, M.* (2007): **Bildung-Lernen. Humanistische Ideale, gesellschaftliche Notwendigkeiten, wissenschaftliche Erkenntnisse.** Wallstein, Göttingen.
- Mead, G. M.* (1910a) *Tröhler, D.; Biesta, G.* (Herausgeber) (2008): **Philosophie der Erziehung.** 1. Auflage, Klinkhardt, Julius, Bad Heilbrunn.
- Mead, G. M.* (1910b) *Tröhler, D.; Biesta, G.* (Herausgeber) (2008): **The Philosophy of Education.** Routledge, London.
- Milner, A. D.; Goodale, M. A.* (2008): **Two visual systems reviewed.** In: *Neuropsychologia* 46 (3), S.774-785. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005.
- Moll, J.; Eslinger, P. J.; Oliveira-Souza, R.* (2001): **Frontopolar and anterior temporal cortex activation in a moral judgment task: preliminary functional MRI results in normal subjects.** In: *Arq Neuropsiquiatr*, September 2001, 59 (3B), S.657-664. DOI: 10.1590/s0004-282x2001000500001.
- Mosing, M. A.; Madison, G.; Pedersen, N. L.; Kuja-Halkola, R.; Ullén, F.* (2014): **Practice does not make perfect: no causal effect of music practice on music ability.** In: *Psychological Science* 25 (9), September 2014, S.1795-1803. DOI: 10.1177/0956797614541990.
- Nadal, M.; Pearce, M. T.* (2011): **Prospects and pitfalls for an emerging field** (The Copenhagen Neuroaesthetics Conference). In: *Brain and cognition* 76 (1), S.172-183. DOI: 10.1016/j.bandc.2011.01.009.
- Popper, K. R.; Eccles, J. C.* (2014): **Das Ich und sein Gehirn.** 12. Auflage, ungekürzte Taschenbuchausgabe, Piper, München.
- Raichle, M. E.; MacLeod, A. M.; Snyder, A. Z.; Powers, W. J.; Gusnard, D. A.; Shulman, G. L.* (2001): **A default mode of brain function.** In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98 (2), S.676–682. DOI: 10.1073/pnas.98.2.676.
- Ramnani, N.; Owen, A. M.* (2004): **Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging.** In: *Nature Reviews Neuroscience* 5, S.184-194. DOI: 10.1038/nrn1343.
- Rauschecker, J. P.* (2012): **Ventral and dorsal streams in the evolution of speech and language.** In: *Frontiers in evolutionary neuroscience* 4, S.7-8. DOI: 10.3389/fnevo.2012.00007.
- Regenbogen, A.* (2013): **Wörterbuch der philosophischen Begriffe.** Felix Meiner, Hamburg.
- Ritter, J.; Gründer, K.; Gabriel, G.; Claesges, U.* (2017): **Historisches Wörterbuch der Philosophie online.** Schwabe Verlag, Basel.
https://www.schwabeonline.ch/schwabe-xaveropp/elibrary/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27verw.representation%27%20and%20%40outline_id%3D%27hwph_verw.representation%27%5D.
 [07.02.2021]
- Rolle, C.* (2008): **Musikalische Bildung durch Kompetenzerwerb? Überlegungen im Anschluss an den Entwurf eines Kompetenzmodells „Musik wahrnehmen und kontextualisieren.** In: *Zeitschrift für Kritische Musikpädagogik*, 2008, Bochum. <https://www.zfkm.org/sonder08-rolle.pdf>.
 [16.01.2021].
- Romanski, L. M.; Tian, B.; Fritz, J.; Mishkin, M.; Goldman-Rakic, P. S.; Rauschecker, J. P.* (1999): **Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex.** In: *Nature neuroscience* 2 (12), S.1131-1136. DOI: 10.1038/16056.
- Scheich, H.; Brechmann, A.; Brosch, M.; Budinger, E.; Ohl, F. W.; Selezneva, E.* (2011): **Behavioral semantics of learning and crossmodal processing in auditory cortex: the semantic processor concept.** In: *Hearing research* 271 (1-2), S.3-15. DOI: 10.1016/j.heares.2010.10.006.
- Scherg, M.* (1997): **Skriptum zur Weiterbildung Medizinische Physik.** Akademie für Weiterbildung an den Universitäten Heidelberg und Mannheim e.V. Unveröffentlicht.

- Schiller, F. (1795a): *Berghahn, K. L.* (Herausgeber): **Über die ästhetische Erziehung des Menschen** in einer Reihe von Briefen. Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart, Ausgabe 2019.
- Schiller, F. (1795b): **Sämtliche Werke, Band 5.** Hanser, München, 1962, <http://www.zeno.org/nid/20005610001> [13.03.2021]
- Schiller, F. (1795c): **Sämtliche Werke, Band 5.** Hanser, München, 1962, <http://www.zeno.org/nid/20005610028> [13.03.2021]
- Schiller, F. (1795d): **Sämtliche Werke, Band 5.** Hanser, München, 1962, <http://www.zeno.org/nid/20005610087> [13.03.2021]
- Schläbitz, N. (2012): **Ästhetische Erziehung (Musik/Bewegung).** In: Sandfuchs, U.; Melzer, W.; Dühlmeier, B.; Rausch, A.: *Handbuch Erziehung* (2012). Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- Schmidt, D. J. (2011): **Aesthetics and subjectivity.** In: Figal, G. (2012): *Hans-Georg Gadamer: Wahrheit und Methode.* Akademie Verlag, Berlin.
- Schneider, P.; Scherg, M.; Dosch, H. G.; Specht, H. J.; Gutschalk, A.; Rupp, A. (2002): **Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians.** In: *Nature neuroscience* 5 (7), S.688-694. DOI: 10.1038/nn871.
- Schneider, P.; Sluming, V.; Roberts, N.; Scherg, M.; Goebel, R.; Specht, H. (2005): **Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference.** In: *Nature neuroscience* 8 (9), S.1241-1247. DOI: 10.1038/nn1530.
- Schneider, P.; Wengenroth, M. (2009): **The Neural Basis of Individual Holistic and Spectral Sound Perception.** In: *Contemporary Music Review* 28 (3), S.315-328. DOI: 10.1080/07494460903404402.
- Schneider, P., Benner, J., Engelmann, D., Gross, T., Bernhofs, V., Zeidler B., Christiner, M.; Seither-Preisler A. (in submission): **Neuroplasticity of musical practice and active listening: a 12 year longitudinal study from childhood to adulthood.** (*Nature Neuroscience*).
- Schnell, W. (2008): **Ästhetische Bildung; Eine empirische Untersuchung zu Auswirkungen einer theaterpädagogischen Unterrichtseinheit.** Pädagogische Dissertation, Pädagogische Hochschule Weingarten.
- Seel, M. (2000): **Ästhetik des Erscheinens.** 6. Auflage, 2019, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Seither-Preisler, A.; Parncutt, R.; Schneider, P. (2014): **Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy, and attentional skills in children.** In: *Journal of neuroscience* 34 (33), S.10937-10949. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5315-13.2014.
- Semendeferi, K.; Armstrong, E.; Schleicher, A.; Zilles, K.; Hoesen, G. W. v. (2001): **Prefrontal cortex in humans and apes: a comparative study of area 10.** In: *American Journal of Physical Anthropology* 114 (3), März 2001, S.224-241. DOI: 10.1002/1096-8644(200103)114:3<224::AID-AJPA1022>3.0.CO;2-I. PMID: 11241188.
- Semendeferi, K.; Teffer, K.; Buxhoeveden, D. P.; Park, M. S.; Bludau, S.; Amunts, K.; Travis, K.; Buckwalter, J. (2011): **Spatial organization of neurons in the frontal pole sets humans apart from great apes.** In: *Cerebral Cortex*, Juli 2011, Band 21, Ausgabe 7, S.1485-1497. DOI: 10.1093/cercor/bhq191.
- Sieroka, N. (2005): **Quasi-Hearing in Husserl, Levinson, and Gordon.** In: *Journal of the British Society for Phenomenology* 36 (1), S.4-22. DOI: 10.1080/00071773.2005.11007461.
- Sieroka, N. (2009): **Ist ein Zeithof schon genug? – Neurophänomenologische Überlegungen zum Zeitbewusstsein und zur Rolle des Auditiven.** In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 20 (3), März 2008, S.213-251. DOI: 10.3196/003180209798439962.
- Simons, J. S.; Henson, R. N. A.; Gilbert, J. G.; Fletcher, P. C. (2008): **Separable forms of reality monitoring supported by anterior prefrontal cortex.** In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 46 (2), S.213-249. DOI: 10.1162/jocn.2008.20036.
- Sola, G.; Dörpinghaus, A.; Witte, E.; Casale, R.; Breithausen, J. (2016): **Der Begriff der Bildung in Deutschland. Zwischen Philosophie und Pädagogik.** In: *Studi sulla Formazione / Open Journal of Education* 19 (1), S.55-85. DOI: 10.13128/Studi_Formaz-18562.

- Spychiger, M.; Hechler, J.* (2014): **Musikalität, Intelligenz und Persönlichkeit.** Alte und neue Integrationsversuche. In: Gruhn, W.; Seither-Preisler, A. (2014): *Der musikalische Mensch*, Olms, Hildesheim, S.23-68.
- Stangl, W.* (1989): **Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik.** <https://lexikon.stangl.eu/14220/enaktivismus>. [03.02.2021].
- Störig, H. J.* (1950): **Kleine Weltgeschichte der Philosophie.** 4. Auflage, 1991, Fischer, Frankfurt am Main.
- Strait, D. L.; Kraus, N.* (2014): **Biological impact of auditory expertise across the life span: musicians as a model of auditory learning.** In: *Hearing research* 308, S.109-121. DOI: 10.1016/j.heares.2013.08.004.
- Süberkrüb, A.* (ohne Jahr): **Edwin Gordons „Music Learning Theory“ – eine Einführung.** <https://www.gordon-gesellschaft.de/>. [16.03.2021]
- Tewes, C.* (2012): **Die Konstitution ästhetischer Erfahrung aus der Perspektive der Neuroästhetik.** In: Früchtli, J.; Moog-Grünwald (Herausgeber), *Zeitschrift für Ästhetik und Allgemeine Kunstwissenschaften*, VIII. Kongress der Deutsche Gesellschaft für Ästhetik 2011, Band 2.
- Tirovolas, A. K.; Levitin, D. J.* (2011): **Music Perception and Cognition Research from 1983 to 2010: A Categorical and Bibliometric Analysis of Empirical Articles in Music Perception.** In: *Music Perception* 29 (1), S.23-36. DOI: 10.1525/mp.2011.29.1.23.
- Valéry, P.* (1923): **Eupalinos oder der Architekt.** 3. Auflage, 1995, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Vanderbilt, T.* (2016): **Geschmack. Warum wir mögen, was wir mögen.** Carl Hanser Verlag, München.
- Vessel, E. A.; Starr, G. G.; Rubin, N.* (2012): **The brain on art: intense aesthetic experience activates the default mode network.** In: *Frontiers in human neuroscience* 6, S.66. DOI: 10.3389/fnhum.2012.00066.
- Vogt, J.* (2004): **(K)eine Kritik des Klassenmusikanten. Zum Stellenwert Instrumentalen Musikmachens in der Allgemeinbildenden Schule.** In: *Zeitschrift für Kritische Musikpädagogik*, 2004. <https://www.zfkm.org/04-vogt.pdf>. [16.01.2021].
- Warner, R. M.* (2013): **Applied statistics. From bivariate through multivariate techniques.** 2. Auflage, SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Welsch, W.* (2012): **Blickwechsel. Neue Wege der Ästhetik.** Reclams Universal-Bibliothek, Stuttgart.
- Wengenroth, M.; Blatow, M.; Heinecke, A.; Reinhardt, J.; Stippich, C.; Hofmann, E.; Schneider, P.* (2014): **Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch.** In: *Cerebral cortex* 24 (5), S.1127-1137. DOI: 10.1093/cercor/bhs391.
- Winner, E.* (2007): **Kinder voll Leidenschaft. Hochbegabungen verstehen.** 1. Auflage, Lit-Verlag, Münster.
- Wolfensteller, U.; Cramon, D. Y. v.* (2011): **Strategy-effects in prefrontal cortex during learning of higher-order S-R rules.** In: *NeuroImage* 57 (2), Juli 2011, S.598-607. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.04.048.
- Wong, P. C. M.; Skoe, E.; Russo, N. M.; Dees, T.; Kraus, N.* (2007): **Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns.** In: *Nature neuroscience* 10 (4), S.420-422. DOI: 10.1038/nn1872.
- Zatorre, R. J.; Chen, J. L.; Penhune, V. B.* (2007): **When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production.** In: *Nature reviews. Neuroscience* 8 (7), S.547-558. DOI: 10.1038/nrn2152.
- Zeki, S.* (2001): **Essays on science and society. Artistic creativity and the brain.** In: *Science* 293 (5527), S.51-52. DOI: 10.1126/science.1062331.
- Zeki, S.* (2010): **Glanz und Elend des Gehirns. Neurobiologie im Spiegel von Kunst, Musik und Literatur.** Reinhardt, München, Basel.
- Zysset, S.; Huber, O.; Ferstl, E.; Cramon, D. Y. v.* (2002): **The anterior frontomedian cortex and evaluative judgment: an fMRI study.** In: *NeuroImage* 15, S.983-991. DOI: 10.1006/nimg.2001.1008.

Anhang

1. Tabellen zur Testung auf Normalverteilung
2. Tabellen zur Testung der Geschlechterverteilung
3. Tabellen zur deskriptiven Statistik
4. Tabellen zur Diskriminanzanalyse
5. Tabellen zu den erhobenen Signifikanzen

Anhang 1 Tests auf Normalverteilung

*df = Anzahl der Freiheitsgrade, Sig = Signifikanz,
IAMMA = altersabhängiger Score-Wert der IMMA bzw. AMMA-Tests,
Lat = Latenz, L = links, R = rechts, T = tonal, R = rhythmisch*

Kinder

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
IAMMA-T	0,11	38	0,20*	0,93	38	0,02
IAMMA-R	0,15	38	0,04	0,92	38	0,01
IAMMA-Total	0,15	38	0,03	0,95	38	0,07
IMPkumulativ	0,20	38	0,00	0,83	38	0,00
IMPaktuell	0,24	38	0,00	0,88	38	0,00
MEG-P1-Lat-R	0,08	38	0,20*	0,99	38	0,98
MEG-P1-Lat-L	0,09	38	0,20*	0,98	38	0,58
MEG-P1-Amp-R	0,11	38	0,20*	0,97	38	0,36
MEG-P1-Amp-L	0,11	38	0,20*	0,97	38	0,34
MEG-BA10-Lat-R	0,15	38	0,03	0,88	38	0,00
MEG-BA10-Lat-L	0,14	38	0,05	0,92	38	0,01
MEG-BA10-Amp-R	0,13	38	0,08	0,92	38	0,01
MEG-BA10-Amp-L	0,12	38	0,20*	0,96	38	0,24

a. Lilliefors Significance Correction

Jugendliche

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
IAMMA-T	0,14	39,00	0,05	0,94	39,00	0,03
IAMMA-R	0,15	39,00	0,02	0,93	39,00	0,01
IAMMA-Total	0,12	39,00	0,16	0,96	39,00	0,14
IMPkumulativ	0,25	39,00	0,00	0,50	39,00	0,00
IMPaktuell	0,23	39,00	0,00	0,65	39,00	0,00
MEG-P1-Lat-R	0,11	39,00	0,20*	0,95	39,00	0,08
MEG-P1-Lat-L	0,14	39,00	0,05	0,92	39,00	0,01
MEG-P1-Amp-R	0,18	39,00	0,00	0,91	39,00	0,00
MEG-P1-Amp-L	0,19	39,00	0,00	0,88	39,00	0,00
MEG-P2-Lat-R	0,13	39,00	0,08	0,97	39,00	0,41
MEG-P2-Lat-L	0,08	39,00	0,20*	0,99	39,00	0,91
MEG-P2-Amp-R	0,15	39,00	0,03	0,93	39,00	0,01
MEG-P2-Amp-L	0,18	39,00	0,00	0,87	39,00	0,00
MEG-BA10-Lat-R	0,09	39,00	0,20*	0,94	39,00	0,05
MEG-BA10-Lat-L	0,10	39,00	0,20*	0,95	39,00	0,07
MEG-BA10-Amp-R	0,16	39,00	0,01	0,95	39,00	0,06
MEG-BA10-Amp-L	0,17	39,00	0,01	0,95	39,00	0,06

a. Lilliefors Significance Correction

Junge Erwachsene

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
IAMMA-T	0,14	43,00	0,03	0,92	43,00	0,01
IAMMA-R	0,14	43,00	0,03	0,96	43,00	0,10
IAMMA-Total	0,12	43,00	0,14	0,95	43,00	0,06
IMPkumulativ	0,22	43,00	0,00	0,78	43,00	0,00
IMPaktuell	0,26	43,00	0,00	0,69	43,00	0,00
MEG-P1-Lat-R	0,14	43,00	0,03	0,94	43,00	0,04
MEG-P1-Lat-L	0,12	43,00	0,12	0,95	43,00	0,06
MEG-P1-Amp-R	0,13	43,00	0,08	0,94	43,00	0,03
MEG-P1-Amp-L	0,11	43,00	0,20*	0,96	43,00	0,12
MEG-P2-Lat-R	0,16	43,00	0,01	0,90	43,00	0,00
MEG-P2-Lat-L	0,13	43,00	0,05	0,85	43,00	0,00
MEG-P2-Amp-R	0,11	43,00	0,20*	0,96	43,00	0,12
MEG-P2-Amp-L	0,11	43,00	0,20*	0,96	43,00	0,13
MEG-BA10-Lat-R	0,11	43,00	0,20*	0,97	43,00	0,25
MEG-BA10-Lat-L	0,12	43,00	0,13	0,97	43,00	0,23
MEG-BA10-Amp-R	0,22	43,00	0,00	0,80	43,00	0,00
MEG-BA10-Amp-L	0,19	43,00	0,00	0,85	43,00	0,00

a. Lilliefors Significance Correction

Ältere Erwachsene

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
IAMMA-T	0,14	42,00	0,04	0,93	42,00	0,01
IAMMA-R	0,15	42,00	0,02	0,94	42,00	0,02
IAMMA-Total	0,12	42,00	0,15	0,94	42,00	0,03
IMPkumulativ	0,24	42,00	0,00	0,85	42,00	0,00
IMPaktuell	0,21	42,00	0,00	0,87	42,00	0,00
MEG-P1-Lat-R	0,20	42,00	0,00	0,93	42,00	0,01
MEG-P1-Lat-L	0,13	42,00	0,07	0,93	42,00	0,02
MEG-P1-Amp-R	0,18	42,00	0,00	0,86	42,00	0,00
MEG-P1-Amp-L	0,12	42,00	0,16	0,94	42,00	0,03
MEG-P2-Lat-R	0,14	42,00	0,04	0,97	42,00	0,39
MEG-P2-Lat-L	0,12	42,00	0,11	0,96	42,00	0,10
MEG-P2-Amp-R	0,17	42,00	0,01	0,82	42,00	0,00
MEG-P2-Amp-L	0,16	42,00	0,01	0,82	42,00	0,00
MEG-BA10-Lat-R	0,14	42,00	0,04	0,96	42,00	0,20
MEG-BA10-Lat-L	0,11	42,00	0,20*	0,96	42,00	0,16
MEG-BA10-Amp-R	0,17	42,00	0,00	0,94	42,00	0,02
MEG-BA10-Amp-L	0,11	42,00	0,20*	0,94	42,00	0,02

a. Lilliefors Significance Correction

Anhang 2 Genderverteilung

df = Anzahl der Freiheitsgrade, Sig = Signifikanz, Z = Verteilung,
IAMMA = altersabhängiger Score-Wert der IMMA bzw. AMMA-Tests,
Lat = Latenz, Amp = Amplitude, Diff = Differenz, L = links, R = rechts, T = tonal, R = rhythmisch

	IAMMA-T	IAMMA-R	IAMMA-Total	IMPkumulativ	IMPaktuell	MEG-P1-Lat R	MEG-P1-Lat L	MEG-P1-Amp R	MEG-P1-Amp L
Mann-Whitney U	3115,50	2956,50	3012,50	3101,00	3172,00	2982,00	3075,00	3181,00	3191,00
Z	-0,55	-1,09	-0,90	-0,60	-0,37	-1,00	-0,69	-0,33	-0,30
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,58	0,28	0,37	0,55	0,71	0,32	0,49	0,74	0,77
Exact Sig. (2-tailed)	0,68	0,28	0,37	0,55	0,72	0,32	0,49	0,74	0,77
Exact Sig. (1-tailed)	0,29	0,14	0,19	0,27	0,36	0,16	0,25	0,37	0,38
Point Probability	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	MEG-P2 Lat-R	MEG-P2 Lat-L	MEG-P2 Amp-R	MEG-P2 Amp-L	MEG-BA10 Lat-R	MEG-BA10 Lat-L	MEG-BA10 Amp-R	MEG-BA10 Amp-L	Diff-Lat R P1 BA10	Diff-Lat L P1 BA10
Mann-Whitney U	3209,50	3213,00	3148,00	3256,00	3036,00	3090,50	3181,50	3154,00	3011,00	2961,50
Z	-0,24	-0,22	-0,44	-0,08	-0,82	-0,63	-0,33	-0,42	-0,90	-1,07
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,81	0,82	0,66	0,94	0,41	0,53	0,74	0,67	0,37	0,29
Exact Sig. (2-tailed)	0,81	0,82	0,66	0,94	0,42	0,53	0,74	0,67	0,37	0,29
Exact Sig. (1-tailed)	0,41	0,41	0,33	0,47	0,21	0,26	0,37	0,34	0,18	0,14
Point Probability	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anhang 3 Deskriptive Statistik

IAMMA = altersabhängiger Score-Wert der IMMA bzw. AMMA-Tests,

Lat = Latenz, Amp = Amplitude, Diff = Differenz, ant = anterior, post = posterior, L = links, R = rechts, T = tonal, R = rhythmisch

	IAMMA-T	IAMMA-R	IAMMA-Total	IMPkumulativ	IMPaktuell	Alter	P1-Lat-R	P1-Lat-L	P1-Amp-R	P1-Amp-L	N1-Lat-R	N1-Lat-L	N1-Amp-R	N1-Amp-L
N	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162
Gültig	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fehlend	55,56	60,50	58,25	97,50	5,27	24,09	70,97	72,20	19,88	22,96	141,40	144,35	-23,90	-19,21
Mittelwert	2,280	1,982	1,994	14,779	0,562	1,206	1,120	1,151	0,977	1,005	4,121	4,103	1,644	1,566
Standardfehler des Mittelwerts	60,00	60,00	60,00	15,00	2,00	19,00	66,00	69,50	16,50	20,00	117,00	118,00	-21,50	-17,00
Median	29,016	25,232	25,381	188,107	7,148	15,356	14,252	14,650	12,437	12,797	52,453	52,225	20,928	19,927
Std.-Abweichung	0	0	0	0	0	7	35	34	1	1	89	11	-105	-72
Minimum	100	100	100	850	30	65	113	114	58	58	322	298	19	20
Maximum														

	P2post-Lat-R	P2post-Lat-L	P2post-Amp-R	P2post-Amp-L	P2ant-Lat-R	P2ant-Lat-L	P2ant-Amp-R	P2ant-Amp-L	BA10-Lat-R	BA10-Lat-L	BA10-Amp-R	BA10-Amp-L	Diff-Lat-R	Diff-Lat-L	Diff-Amp-R	Diff-Amp-L
N	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162
Gültig	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fehlend	221,91	222,67	9,77	6,81	224,52	232,23	0,48	3,49	92,73	92,41	7,30	7,49	25,68	24,83	24,83	24,83
Mittelwert	2,178	2,160	0,454	0,389	4,402	4,193	2,026	1,645	2,197	2,278	0,333	0,307	1,839	1,804	1,839	1,804
Standardfehler des Mittelwerts	216,50	220,00	9,00	6,00	209,50	219,50	2,00	5,00	91,00	91,50	6,00	7,00	18,50	16,50	18,50	16,50
Median	27,719	27,493	5,775	4,691	56,023	53,368	25,793	20,940	27,966	28,990	4,232	3,901	23,407	22,967	23,407	22,967
Std.-Abweichung	150	150	-2	-5	142	142	-73	-70	42	31	1	1	0	0	0	0
Minimum	292	298	40	30	375	365	107	67	170	170	25	21	86	92	86	92
Maximum																

Anhang 4 Diskriminanzanalyse 2-Gruppen-Vergleich

df = Anzahl der Freiheitsgrade, *Sig* = Signifikanz,

IAMMA = altersabhängiger Score-Wert der *IMMA* bzw. *AMMA*-Tests,

Lat = Latenz, *Amp* = Amplitude, *Diff* = Differenz, *ant* = anterior, *post* = posterior, *L* = links, *R* = rechts, *T* = tonal, *R* = rhythmisch

Eigenwert				
Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,446 ^a	100,00	100,00	0,77

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda				
Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,41	133,26	22	0,00

Structure Matrix	
	Function 1
Diff-Lat-LP1BA10	0,75
MEG-BA10-Lat-R	0,72
Diff-Lat-RP1BA10	0,69
MEG-BA10-Lat-L	0,68
MEG-P2post-Amp-R	-0,26
MEG-P2post-Amp-L	-0,20
MEG-BA10-Amp-R	0,14
MEG-P2ant-Amp-R	-0,11
MEG-P2ant-Amp-L	-0,08
MEG-N1-Amp-L	0,06
MEG-N1-Lat-R	0,05
MEG-P2post-Lat-L	0,05
MEG-P1-Lat-L	0,05
MEG-P2post-Lat-R	0,05
MEG-P1-Amp-R	-0,04
MEG-BA10-Amp-L	0,04
MEG-P1-Amp-L	-0,04
MEG-P2ant-Lat-R	0,03
MEG-N1-Amp-R	0,03
MEG-P1-Lat-R	-0,02
MEG-P2ant-Lat-L	0,01
MEG-N1-Lat-L	0,01

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results					
Musikerstatus		Predicted Group Membership			Total
		musician	non-musician		
Original	Count	musician	72	8	80
		non-musician	13	69	82
	%	musician	90,00	10,00	100,00
		non-musician	15,85	84,15	100,00

87.0% of original grouped cases correctly classified.

Diskriminanzanalyse 8-Gruppen-Vergleich

Kinder

Eigenwert				
Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	0,358 ^a	100,00	100,00	0,51

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda				
Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,74	10,42	4	0,03

Structure Matrix

	Function 1
MEG-BA10-Lat-R	0,81
Diff-Lat-LP1BA10	0,73
MEG-BA10-Lat-L	0,63
Diff-Lat-RP1BA10	0,57

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function 1
MEG-BA10-Lat-R	1,84
MEG-BA10-Lat-L	-0,13
Diff-Lat-RP1BA10	-1,51
Diff-Lat-LP1BA10	0,62

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Discriminant-children			Predicted Group Membership		
			children musicians	children/ non-musicians	Total
Original	Count	children musicians	14	4	18
		children non-musicians	6	14	20
	%	children musicians	77,78	22,22	100,00
		children non-musicians	30,00	70,00	100,00
Cross-validated ^b	Count	children musicians	14	4	18
		children non-musicians	8	12	20
	%	children musicians	77,78	22,22	100,00
		children non-musicians	40,00	60,00	100,00

a. 73.7% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 68.4% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Jugendliche

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	0,599 ^a	100,00	100,00	0,61

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,63	16,90	4	0,00

Structure Matrix

	Function 1
Diff-Lat-LP1BA10	0,90
MEG-BA10-Lat-L	0,87
MEG-BA10-Lat-R	0,85
Diff-Lat-RP1BA10	0,73

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function 1
MEG-BA10-Lat-R	1,43
MEG-BA10-Lat-L	-0,65
Diff-Lat-RP1BA10	-1,19
Diff-Lat-LP1BA10	1,35

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Discriminant-adolescents			Predicted Group Membership		
			adolescents- musicians	adolescents/ non-musicians	Total
Original	Count	adolescents-musicians	16	4	20
		adolescents-non-musicians	5	15	20
	%	adolescents-musicians	80,00	20,00	100,00
		adolescents-non-musicians	25,00	75,00	100,00
Cross-validated ^b	Count	adolescents-musicians	13	7	20
		adolescents-non-musicians	6	14	20
	%	adolescents-musicians	65,00	35,00	100,00
		adolescents-non-musicians	30,00	70,00	100,00

a. 77.5% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 67.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Junge Erwachsene

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	2,257 ^a	100,00	100,00	0,83

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,31	42,50	8	0,00

Structure Matrix

	Function
	1
Diff-Lat-RP1BA10	1
Diff-Lat-LP1BA10	1
MEG-BA10-Lat-L	0,67
MEG-BA10-Lat-R	0,63
MEG-P2ant-Amp-R	0
MEG-P2ant-Amp-L	0
MEG-P1-Lat-R	-0,28
MEG-P1-Amp-R	-0,26

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function
	1
MEG-P1-Lat-R	-0,52
MEG-P1-Amp-R	-0,14
MEG-P2ant-Amp-R	-0,53
MEG-P2ant-Amp-L	0,34
MEG-BA10-Lat-R	-1,23
MEG-BA10-Lat-L	2,12
Diff-Lat-RP1BA10	1,33
Diff-Lat-LP1BA10	-1,25

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Discriminant-young-adults			Predicted Group Membership		
			young adults musicians	young adults non-musicians	Total
Original	Count	young adults musicians	19	0	19
		young adults non-musicians	2	21	23
	%	young adults musicians	100,00	0,00	100,00
		young adults non-musicians	8,70	91,30	100,00
Cross-validated ^b	Count	young adults musicians	18	1	19
		young adults non-musicians	2	21	23
	%	young adults musicians	94,74	5,26	100,00
		young adults non-musicians	8,70	91,30	100,00

a. 95.2% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 92.9% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Ältere Erwachsene

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	2.462 ^a	100,00	100,00	0,84

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,29	43,47	10	0,00

Structure Matrix

	Function 1
MEG-BA10-Lat-R	0,85
MEG-BA10-Lat-L	0,79
Diff-Lat-RP1BA10	0,68
Diff-Lat-LP1BA10	0,62
MEG-P2ant-Amp-R	-0,42
MEG-P2ant-Amp-L	-0,38
MEG-P2post-Amp-L	-0,31
MEG-P2post-Amp-R	-0,30
MEG-P1-Lat-R	-0,27
MEG-P1-Amp-R	-0,20

Standardized Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function 1
MEG-P1-Lat-R	-0,15
MEG-P1-Amp-R	0,05
MEG-P2post-Amp-	-0,36
MEG-P2post-Amp-	0,04
MEG-P2ant-Amp-R	-0,20
MEG-P2ant-Amp-L	-0,09
MEG-BA10-Lat-R	0,85
MEG-BA10-Lat-L	-0,10
Diff-Lat-RP1BA10	0,05
Diff-Lat-LP1BA10	0,11

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Discriminant-older-adults			Predicted Group Membership		
			older adults musicians	older adults non-musicians	Total
Original	Count	older adults musicians	23	0	23
		older adults non-musicians	3	16	19
	%	older adults musicians	100,00	0,00	100,00
		older adults non-musicians	15,79	84,21	100,00
Cross-validated ^b	Count	older adults musicians	21	2	23
		older adults non-musicians	5	14	19
	%	older adults musicians	91,30	8,70	100,00
		older adults non-musicians	26,32	73,68	100,00

a. 92.9% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 83.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Gruppe Kinder+Jugendliche versus Erwachsene (jüngere+ältere)

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,697 ^a	100,0	100,0	0,793

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,37	147,84	22	0,00

Structure Matrix

	Function
	1
MEG-N1-Lat-L	-0,69
MEG-P1-Lat-L	-0,64
MEG-P2ant-Amp-L	0,57
MEG-N1-Lat-R	-0,57
MEG-P1-Lat-R	-0,56
MEG-P2ant-Amp-R	0,53
MEG-P2ant-Lat-L	-0,41
MEG-P2ant-Lat-R	-0,36
MEG-P1-Amp-L	-0,32
MEG-BA10-Lat-R	-0,30
MEG-BA10-Lat-L	-0,29
MEG-P1-Amp-R	-0,24
MEG-N1-Amp-L	0,13
MEG-BA10-Amp-R	-0,13
MEG-BA10-Amp-L	-0,12
MEG-P2post-Lat-R	-0,10
MEG-P2post-Amp-L	0,09
MEG-P2post-Lat-L	-0,08
MEG-N1-Amp-R	0,07
MEG-P2post-Amp-R	-0,05
Diff-Lat-RP1BA10	-0,01
Diff-Lat-LP1BA10	0,00

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Gruppe-adults-versus-adolescents+children			Predicted Group Membership		
			young	adults	Total
Original	Count	young	65	13	78
		adults	3	81	84
	%	young	83,33	16,67	100,00
		adults	3,57	96,43	100,00
Cross-validated ^b	Count	young	62	16	78
		adults	6	78	84
	%	young	79,49	20,51	100,00
		adults	7,14	92,86	100,00

a. 90.1% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 86.4% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Gruppe Kinder versus Erwachsene (jüngere+ältere)

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	11.852 ^a	100,0	100,0	,960

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,08	278,33	22	0,00

Structure Matrix

	Function 1
MEG-N1-Lat-L	0,69
MEG-N1-Lat-R	0,64
MEG-P2ant-Lat-L	0,45
MEG-P2ant-Lat-R	0,42
MEG-P1-Lat-L	0,40
MEG-P1-Lat-R	0,34
MEG-P2ant-Amp-L	-0,31
MEG-P2ant-Amp-R	-0,30
MEG-P1-Amp-L	0,22
MEG-P1-Amp-R	0,18
MEG-N1-Amp-L	-0,12
MEG-P2post-Lat-R	0,12
MEG-BA10-Lat-R	0,12
MEG-BA10-Lat-L	0,12
MEG-P2post-Lat-L	0,11
MEG-BA10-Amp-L	0,11
MEG-N1-Amp-R	-0,09
MEG-BA10-Amp-R	0,08
MEG-P2post-Amp-L	-0,06
Diff-Lat-RP1BA10	-0,03
MEG-P2post-Amp-R	0,02
Diff-Lat-LP1BA10	-0,01

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Gruppe-children-versus-adults			Predicted Group Membership		
			children	adults	Total
Original	Count	children	38	0	38
		adults	0	84	84
		Ungrouped cases	9	31	40
	%	children	100,00	0,00	100,00
		adults	0,00	100,00	100,00
		Ungrouped cases	22,50	77,50	100,00
Cross-validated ^b	Count	children	38	0	38
		adults	0	84	84
		Ungrouped cases	9	31	40
	%	children	100,00	0,00	100,00
		adults	0,00	100,00	100,00
		Ungrouped cases	22,50	77,50	100,00

a. 100.0% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 100.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Gruppe Jugendliche versus Erwachsene (jüngere+ältere)

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1,017 ^a	100,00	100,00	0,71

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,50	77,86	22	0,00

Structure Matrix

	Function
	1
MEG-N1-Lat-L	-0,59
MEG-P1-Lat-L	-0,54
MEG-P2ant-Amp-L	0,46
MEG-N1-Lat-R	-0,42
MEG-P1-Lat-R	-0,41
MEG-P2ant-Amp-R	0,40
MEG-BA10-Lat-R	-0,33
MEG-BA10-Lat-L	-0,30
MEG-P2post-Lat-R	0,14
MEG-P2post-Lat-L	0,14
MEG-N1-Amp-R	-0,13
MEG-P1-Amp-L	-0,11
Diff-Lat-RP1BA10	-0,11
MEG-P2ant-Lat-L	-0,08
MEG-N1-Amp-L	-0,08
MEG-BA10-Amp-L	0,08
MEG-P2ant-Lat-R	0,06
Diff-Lat-LP1BA10	-0,04
MEG-P2post-Amp-R	-0,03
MEG-BA10-Amp-R	-0,02
MEG-P2post-Amp-L	0,02
MEG-P1-Amp-R	-0,01

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Gruppe-adults-versus-adolescents			Predicted Group Membership		
			adelescents	adults	Total
Original	Count	adelescents	31	9	40
		adults	9	75	84
		Ungrouped cases	38	0	38
	%	adelescents	77,50	22,50	100,00
		adults	10,71	89,29	100,00
		Ungrouped cases	100,00	0,00	100,00
Cross-validated ^b	Count	adelescents	27	13	40
		adults	14	70	84
		adelescents	67,5	32,5	100,0
	%	adults	16,7	83,3	100,0

a. 85.5% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 78.2% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Gruppe Jugendliche versus Kinder 2-Gruppenvergleich

Eigenwert

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	5,310 ^a	100,00	100,00	0,92

a. First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	0,16	119,74	22	0,00

Structure Matrix

	Function 1
MEG-N1-Lat-R	0,68
MEG-N1-Lat-L	0,53
MEG-P2ant-Lat-R	0,49
MEG-P2ant-Lat-L	0,47
MEG-P1-Lat-R	0,36
MEG-P1-Lat-L	0,35
MEG-P2ant-Amp-R	-0,30
MEG-P1-Amp-L	0,30
MEG-P2ant-Amp-L	-0,29
MEG-P1-Amp-R	0,28
MEG-N1-Amp-L	-0,25
MEG-P2post-Lat-R	0,25
MEG-P2post-Lat-L	0,23
MEG-N1-Amp-R	-0,22
MEG-BA10-Amp-L	0,20
MEG-BA10-Amp-R	0,12
MEG-P2post-Amp-L	-0,10
Diff-Lat-RP1BA10	-0,09
MEG-BA10-Lat-L	0,06
MEG-BA10-Lat-R	0,05
Diff-Lat-LP1BA10	-0,03
MEG-P2post-Amp-R	0,03

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

Classification Results^{a,c}

Gruppe-adolescents-versus-children			Predicted Group Membership		
			children	adolescents	Total
Original	Count	children	38	0	38
		adolescents	1	39	40
		Ungrouped cases	0	84	84
	%	children	100,00	0,00	100,00
		adolescents	2,50	97,50	100,00
		Ungrouped cases	0,00	100,00	100,00
Cross-validated ^b	Count	children	33	5	38
		adolescents	5	35	40
		children	86,84	13,16	100,00
	%	adolescents	12,50	87,50	100,00

a. 98.7% of original grouped cases correctly classified.

b. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.

c. 87.2% of cross-validated grouped cases correctly classified.

Lebenslauf

Steffen-Michael Bücher, verheiratet mit Marion E. Bücher-Herbst, Vater von Sohn Nikolaus Johann

Eltern: Dr. med. Hanno Bücher und Dr. med. Gisela Bücher

- 2016-2017: Wissenschaftliche Hilfskraft an der Neurologischen Klinik des Universitätsklinikums in Heidelberg
- 2015-2021: Doktorand an der Neurologischen Klinik, Universität Heidelberg, Doktorvater: PD Dr. Peter Schneider
- seit 2014: Landeskoordinator Musik am Hessischen Kultusministerium
- 2010-2015: Gasthörer im Doktorandenkolloquium von Prof. Dr. Werner Jank, Hochschule für Musik und Darstellende Kunst Frankfurt
- seit 2008: Organist an der evangelischen Kirche in Ober-Ramstadt- Rohrbach-Wembach-Hahn
- seit 2006: Hessischer Landesbeamter (aktueller Dienstgrad: Direktor)
- 2001-2006: Leiter des Kulturveranstaltungsbüros der Stadt Walldürn
- 1999-2006: Leiter der Städtischen Musikschule Walldürn
- seit 1995: künstlerische Zusammenarbeit mit verschiedenen Opernhäusern, Orchestern und Chören im In- und Ausland
- seit 1994: Konzerttätigkeit in In- und Ausland
- 1990-2001: Studium:
Künstlerische Ausbildung als Dirigent, Pianist und Sänger
Lehramtsstudium Musik und Sport
- 1988-1990: Zivildienstleistender im Rettungsdienst des DRK Mannheim
- 1988-1991: Begabtenförderung der Stadt Ladenburg
- 1988: Abitur

Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei PD Dr. Peter Schneider für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und die geduldige und unermüdliche Unterstützung meines wissenschaftlichen Arbeitens. Neben seiner ausgezeichneten professionellen Betreuung möchte ich PD Dr. Peter Schneider für die persönliche, freundschaftliche und stets freundliche Begegnung sowie seine emotionale Unterstützung bei der Bewältigung dieser Arbeit danken.

Dr. Markus Christiner schulde ich einen großen Dank für sein großartiges Engagement bei den intensiven Beratungen in Zusammenhang mit der statistischen Bearbeitung der gewonnenen Daten.

Prof. Dr. Werner Jank danke ich für eine über ein Jahrzehnt andauernde Begleitung meines wissenschaftlichen Forschens, intensive Beratungen, der Möglichkeit, Forschungsergebnisse in seinen Doktorandenkolloquien an den Hochschulen für Musik und Darstellende Kunst in Mannheim und Frankfurt vorzustellen und für die freundschaftliche Zugewandtheit für mein Tun.

Für ihre Bereitschaft und Zeit zum wissenschaftlichen Diskurs möchte ich Dr. Hans-Dieter Hüllstrung, Prof. Dr. Christian Tewes, Prof. Dr. Andreas Draguhn, Prof. Dr. Dr. Thomas Fuchs und Dr. Hans-Ulrich Bender danken.

Für ein wachsames Auge hinsichtlich der Gestaltung der Arbeit und für die Bereitwilligkeit zur Teilnahme an meinen gewonnenen Erkenntnissen während der intensiven Phase der Erstellung der Arbeit möchte ich Andreas Steffens, Matthias Röser, Michael Krug, Renate Schneider und Jochen Doufrain danken.

Abschließend möchte ich meinem persönlichen Umfeld und hier insbesondere meiner geliebten Familie Marion und Nikolaus für die Bereitschaft danken, auf mich während vieler Stunden und Tage des Forschens und Schreibens – insbesondere in Ferien und an Wochenenden – zu verzichten und mir somit den Abschluss dieser Arbeit zu ermöglichen.

Eidesstattliche Versicherung

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema „Neuronale Korrelate musikalisch-ästhetischer Erfahrung“ handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich bislang nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.
4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erklärt und nichts verschwiegen habe.

Heidelberg, 31.03.2021

Steffen-Michael Bücher