

**Kulturvergleichende Untersuchung
zur Wahrnehmung musikalischer Skalen**

**Eine ERP-Studie
mit deutschen, türkischen und indischen Probanden**

**DISSERTATION
zur Erlangung der Würde des Doktors der
Philosophie
der Universität Hamburg**

vorgelegt von

**Christiane Neuhaus
aus Hamburg**

Hamburg, 2002

1. Gutachter/in: Prof. Dr. Albrecht Schneider

2. Gutachter/in: Prof. Dr. Eckart Altenmüller

Datum der mündl. Prüfung: 19. 12. 2002

Meinem Vater
in liebevoller Erinnerung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1. Grundlagen	5
1.1. EEG-Kurven: Elektrogenese, Ableitung, Auswertung	5
1.2. Ereigniskorrelierte Potentiale: signal averaging-Methode, Nomenklatur, Komponentencharakteristik	13
2. Experimentelle Beiträge zur <i>musikbezogenen</i> ERP- und DC-Forschung (Übersicht über Untersuchungsansätze, Versuchsdesigns und Ergebnisse, Stand: Februar 2001)	37
2.1. Arbeiten zum Forschungsbereich ‚Psychophysik‘	37
2.2. ERP-Studien zum ‚Absoluten Gehör‘	41
2.3. ERP-Beiträge zur Intervall-Perzeption	47
2.4. ERP-Ergebnisse nach Vorgabe von einzelnen Akkorden und Kadenzen	50
2.5. Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung von Tonpattern (I) und inkongruenten Melodieschlüssen (II)	59
2.6. Bioelektrische Untersuchungen zur Klangfarbenwahrnehmung und Rhythmusverarbeitung	76
2.7. Hirnelektrische Vorgänge beim Vorstellen oder mentalen Strukturieren von Tonmaterial	82
3. Kulturvergleichende Psychologie und experimental ethnomusicology	90
3.1. Anmerkungen zu beiden Fachgebieten	90
3.2. Beiträge aus dem Bereich ‚experimental ethnomusicology‘ - Untersuchungsansätze, Versuchsergebnisse	104
3.2.1. Interkulturelle Anwendungen der ‚probe tone‘-Methode	105
3.2.2. Experimentelle Beiträge zum Aspekt ‚musikalische Enkulturation‘: Wie wirkt sich die in den verschiedenen Entwicklungsphasen gesammelte kulturspezifische Erfahrung auf die musikalische Wahrnehmung des Menschen aus?	109
3.3. Vorbemerkungen zum zweiten, experimentellen Teil der Arbeit	115
3.3.1. Anmerkungen zum Begriff ‚Tonleiter‘	116

3.3.2.	Zur Stichproben-Zusammenstellung im ethnomusikalisch-experimentellen Bereich - einige grundsätzliche Anmerkungen	124
3.3.3.	Zur Prämisse des cross-cultural-ERP-Experiments / Darstellung von Ergebnissen der kulturvergleichenden EEG-Forschung	127
3.3.4.	Perzeption und Apperzeption im Kulturvergleich - Formulierung einer statistischen Hypothese	132
4.	Der Versuch	133
4.1.	Versuchspersonen	133
4.2.	Das Tonmaterial	137
4.3.	Apparatur und Versuchsanordnung	139
4.4.	Versuchsdurchführung (allgemeiner Versuchsablauf)	142
4.5.	Anmerkungen zum Pretest	144
4.6.	Die Ableitungsmethode	148
4.7.	Zur Auswertung der elektrophysiologischen Meß-Daten	150
4.8.	Methodische Anmerkungen zur Auswertung der Versuchsaufgaben	157
5.	Ergebnisse	162
5.1.	Deskriptiv-Befunde	162
5.1.1.	Zählen der devianten Tonleitern	162
5.1.2.	Notation der Standard- und Deviantskalen	165
5.1.3.	Benennung / Klassifikation der Tonleitern	170
5.2.	Ergebnisse der ERP-Auswertung	179
5.2.1.	Der Pretest	179
5.2.2.	Der Hauptversuch	184
5.2.2.1.	Block 1: Dur-Standard versus Thai-Deviant	186
5.2.2.2.	Block 2: Dur-Standard versus Moll-Deviant	202
5.2.2.3.	Block 3: Makam Hicaz (Standard) versus Thai-Skala (Deviant)	211
5.2.2.4.	Block 4: Dur-Skala (Standard) versus Makam Hicaz (Deviant)	218
5.2.2.5.	Block 5: Thai-Standard versus Dur-Deviant	227
6.	Interpretation	233
6.1.	„Negative shift“: Begriffsbildung ‚per negationem‘, durch Ausschluß ähnlicher ERP-Wellen und Potentialverschiebungen	233
6.2.	Deutung der einzelnen ERP-Ergebnisse gesondert für jede Skalenstufe (Block 1 bis Block 5)	240

6.2.1.	Block 1: Dur-Standard- versus Thai-Deviant-Skala	241
6.2.2.	Block 2: Dur-Standard versus Moll-Deviant	256
6.2.3.	Block 3: Makam Hicaz (Standard) versus Thai-Skala (Deviant)	260
6.2.4.	Block 4: Dur-Skala (Standard) versus Makam Hicaz (Deviant)	264
6.2.5.	Block 5: Thai-Standard versus Dur-Deviant	268
6.2.6.	Zusammenfassung der wichtigsten Interpretationsergebnisse	271
6.2.6.1.	blockübergreifend, Tonstufe eins bis acht	271
6.2.6.2.	<i>kulturbedingte</i> Besonderheiten im Hörverhalten von Deutschen, Türken und Indern (Perzeption und Apperzeption)	277
6.2.6.3.	Faktoren und Variablen, die einen Einfluß auf die Tonhöhenwahrnehmung und -verarbeitung haben (Indikatoren: P3-Komponente / negative Potentialverschiebung)	280
7.	Resümee und abschließende Diskussion	281
	(geordnet nach Themenfeldern)	
7.1.	Neurophysiologischer Bereich: Anmerkungen zur ‚P300- zur ‚Verarbeitungsnegativität‘ und ihren Indikatorfunktionen	281
7.2.1.	Interpretation der Potential-Ergebnisse unter dem Aspekt ‚Skalen-Struktur‘ - Wie wurden die konstitutiven Elemente einer Tonleiter perzipiert?	284
7.2.2.	Kulturspezifisch oder universal? - Anmerkungen zu Hörkonzepten und Wahrnehmungsstrategien der Versuchspersonen	287
7.3.	Zum Zusammenhang zwischen den Faktoren ‚Stimulus-Vertrautheit‘, ‚Akkulturation‘, ‚reziproke Präsentationsform‘ und den Reaktionen ‚P3‘ bzw. ‚Verarbeitungsnegativität‘	293
7.4.	Anmerkungen zur Validität des durchgeführten ERP-Experiments	295
7.5.	ERP-Meßtechnik und -Versuchsparadigmen: Vor- und Nachteile	299
	1. per se	
	2. aus Sicht der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘	
7.5.1.1.	Ereigniskorrelierte Potentialmessungen: Vorteile der Meßmethode ganz allgemein	299
7.5.1.2.	Nachteile und ‚constraints‘ bei ERP-Messungen	300
7.5.2.	Ist es zweckmäßig, die ERP-Meßtechnik in der kulturvergleichenden Forschung als Meßinstrument zu verwenden?	303
	Literatur	305
	Anhang	315

Vorwort

Noch immer ist die Ableitung elektrischer Spannungsschwankungen von der Schädeldecke des Menschen eine der wichtigsten Meßmethoden in der *kognitiven Neuro-Musikologie*, um auf nicht-invasivem Wege Aufschlüsse über die Gehirntätigkeit gesunder Versuchspersonen beim Hören und Verarbeiten akustischer Stimuli zu erhalten.

Nahezu sämtliche Ergebnisse dieses Mitte der 80er Jahre entstandenen Forschungsbereichs¹ beziehen sich auf die Perzeption von Klängen, d.h. auf das Wahrnehmungsverhalten von „cognitively perceiving human beings“, nicht aber auf die Wiedergabe von Musik, d.h. auf reproduzierende Vorgänge von „emotional performing musicians“². Ursache hierfür sind sehr komplexe hirnelektrische Reaktionen, die sich bei ausführenden Instrumentalisten als Folge von motorischen Abläufen in Spielsituationen beobachten lassen.³ Hirnelektrische Antworten dieser Art sind datenanalytisch erheblich komplizierter auszuwerten als Ergebnisse zu Perzeptions- und Informationsverarbeitungsprozessen, die bei inaktiven Probanden in passiven Hörsituationen ermittelt worden sind.

Wenngleich Mari Tervaniemi und andere interdisziplinär arbeitende Neurowissenschaftler die sukzessive oder simultane Verwendung von *mehreren* hirnphysiologischen Meßmethoden zur Untersuchung dieser Informationsverarbeitungsprozesse anraten,⁴ so herrscht in der Forschungspraxis dennoch die Tendenz zur methodischen „Eingleisigkeit“ vor: Auf der einen Seite kommt einzig die klassische *EEG-Methode* zur Aufzeichnung der hirnelektrischen Spontanaktivität zum Einsatz (Versuchsreihen von H. Petsche et al., dazu S.10f). Auf der anderen Seite wird ausschließlich *reizevozierte bzw. ereigniskorrelierte Aktivität* registriert und zumeist auf die Auswertung und Interpretation von nur *einer* Halbwelle (Komponente) des

¹Zu den ersten Veröffentlichungen zählen die Beiträge von M. Klein et al. (*Science* 223, 1984), W. Paulus (*Diss.* Erlangen, 1985), E. Altenmüller (*Eur. Arch. Psychiatr. Neurol. Sci.* 235, 1986), M. Besson/F. Macar (*Psychophysiology* 24, 1987) sowie die Aufsätze von J. M. Taub et al. (*Physiological Psychology* 4, 1976) und R. Brix (*Arch. Oto-Rhino-Laryngology* 217, 1977).

² M. Tervaniemi /T. L. v. Zuijen „Methodologies of brain research“ *JNMR* 28, 1999, S. 206.

³ Forschungsschwerpunkt des Instituts für Musikphysiologie und Musiker-Medizin Hannover, Ltg.: E. Altenmüller.

⁴ „The optimal solution is to conduct experiments by employing multiple methods, either in parallel or in serial manner. Those experiments would be most informative if they combined electric and metabolic methods. By now, such studies have only been conducted with relatively simple experimental questions ...“ (M.Tervaniemi/T.v. Zuijen „Methodologies of Brain Research“, S. 206).

bioelektrischen Potentialverlaufs begrenzt.

Auch die vorliegende Dissertation bedient sich des Einzel-Meßverfahrens.¹ Sie stellt eine Studie im Sinne des kognitiven Informationsverarbeitungsansatzes dar und untersucht ausschließlich *ereigniskorrelierte* Aktivität. Die Arbeit wurde konzipiert, um herauszufinden, wie Angehörige verschiedener Kulturen auf vertraute (und im Kontrast dazu auf fremde) *Tonleitern von unterschiedlicher Binnenstruktur* reagieren. Als *Indikator* wurde hierzu eine spezifische Komponente des ereigniskorrelierten Potentials, die sog. P300-Welle, herangezogen. Zielsetzung war es, auf elektrophysiologischem Wege Aufschlüsse über selbst nicht direkt meßbare kognitive Prozesse, über Perzeptions- und Apperzeptionsvorgänge zu erhalten.

Der Untersuchungsansatz geht insofern über herkömmliche neuromusikologische Versuchskonzepte hinaus, als daß Zusammenstellung der Versuchsgruppen sowie die Wahl des Stimulusmaterials (Tonleitern) - nach Kenntnis der Verfasserin - erstmals unter dem Aspekt des *Kulturvergleichs* vorgenommen worden sind.

So versteht sich vorliegende Arbeit als Teil einer ‚Schnittmenge‘, die aus den Segmenten ‚kognitive Neuro-Musikologie‘, ‚cross-cultural psychology‘² sowie ‚Vergleichende Musikwissenschaft‘ besteht. Anregung hat der Autorin eine Anmerkung der Musikwissenschaftlerin Dalia Cohen aus Jerusalem gegeben, die in einem Beitrag aus dem Jahr 1991 vorschlug, „that the responses of listeners from other cultures and to different scales, existing or hypothetical, also should be examined.“³

Die Umsetzung dieser Überlegungen war mit einem erheblichen Untersuchungs- und Auswertungsaufwand verbunden, so daß die Arbeit mit großer zeitlicher Verzögerung fertiggestellt wurde.⁴

¹ Weitere psychophysiologische Untersuchungsmethoden in Zusammenhang mit akustischer Reizverarbeitung können auch in dieser Arbeit aus Gründen der Überschaubarkeit nicht berücksichtigt werden (als Beispiele wären die Magnetenzephalographie (MEG) zu nennen, die Positronenemissionstomographie (PET) sowie Messungen der regionalen Hirndurchblutung (regional cerebral blood flow, rCBF)).

² synonym: ‚kulturvergleichende Psychologie‘; zur Definition des Forschungsbereiches schreibt L. Eckensberger: „Die Disziplin, die ... den Einfluß kultureller Bedingungen auf psychologische Konstrukte untersucht, müßte ... eigentlich ‚anthropologische Psychologie‘ heißen. Es hat sich aber eingebürgert, in diesem Falle von ‚kulturvergleichender Psychologie‘ zu sprechen.“ (*Probleme der kulturvergleichenden Forschung*, 1970, S. 8).

³ D. Cohen/A. Erez, ‚Event-related-potential measures ...‘ in: *Music Perception* 8, 1991, S. 408.

⁴ zum Teil auch durch andere musikwissenschaftliche und musikbezogene Tätigkeiten der Verfasserin bedingt.

Sie setzt sich aus einem theoretischen Teil von drei Kapiteln und einem experimentellen Teil von vier Kapiteln zusammen.

In Kapitel 1 werden die Grundlagen der EEG- bzw. ereigniskorrelierten Potential-Forschung dargestellt. Es wird auf das Ableitungs-Procedere, die Aufzeichnung und Auswertung von EEG-Kurven (Spontanaktivität) sowie auf das Erstellen von ereigniskorrelierten Potentialen (event-related potentials, abgekürzt: ERPs) mittels signal averaging eingegangen. Ferner wird die Nomenklatur und Charakteristik der einzelnen ERP-Komponenten mit den dazugehörigen Versuchsparadigmen und psychologischen Konstrukten (Korrelaten) beschrieben.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über den Forschungsstand der kognitiven Neuro-Musikologie (Berücksichtigung von Veröffentlichungen bis zum Februar 2001, begrenzt jedoch auf diejenigen Publikationen, die Ergebnisse zu ereigniskorrelierten Potentialen enthalten).

Kapitel 3 setzt sich methodologisch mit ‚constraints‘ in der ‚kulturvergleichenden Psychologie‘ auseinander. Es werden kulturvergleichende empirische Arbeiten zur Musikwahrnehmung vorgestellt und Informationen zur Tonleiter per se sowie zu den Skalenarten der nicht-westlichen Musikkulturen gegeben, die für das Verständnis des nachfolgenden ‚cross cultural-ERP-Versuchs‘ zweckdienlich erscheinen.

Der experimentelle Teil folgt in seiner formalen Anlage dem allgemeinen Schema für experimentelle Untersuchungen: In Kapitel 4 werden Stimuli, Probanden, Versuchsaufbau und -durchführung des Pretests und des Hauptversuchs beschrieben. In Kapitel 5 werden zunächst die Verhaltensdaten sämtlicher Versuchsteilnehmer aufgelistet, hernach werden für jeden Skalenton und jede Versuchsgruppe die Ergebnisse der visuellen Inspektion sämtlicher ERP-Kurven sowie der Signifikanztests dargestellt.

Diese Resultate werden in Kapitel 6 - abermals gesondert für jeden Tonleiterton - interpretiert sowie im Anschluß unter psychophysiologischen, kulturvergleichenden, musiktheoretischen und anderen Aspekten sachgruppenbezogen erörtert (Kapitel 7).

Für Unterstützung, Ermutigung, Ratschläge und konstruktive Kritik auf den vielen Etappen, die zur vorliegenden Arbeit geführt haben, möchte ich folgenden Personen herzlich danken:
Meinem Mentor Professor Dr. Albrecht Schneider, der mir das Akustik-Labor des Musikwissenschaftlichen Instituts der Universität Hamburg für EEG-Messungen zur Verfügung gestellt und sehr viele Fragen beantwortet hat. Den Neurophysiologen

Professor Dr. Eckart Altenmüller (Hannover), Dr. Gabriel Curio (Berlin), Professor Dr. Rolf Verleger (Lübeck) und Dr. Gebhardt Sammer (Hamburg), die mir in der experimentellen Planungsphase wertvolle Anregungen gegeben haben bzw. denen ich die gemittelten ERP-Signalkurven zur Begutachtung vorlegen durfte.

Herrn Dipl.-Mathematiker Roland Wais, Rechenzentrum Universität Hamburg, ohne dessen verschachtelten UNIX- und SPSS-Programmentwurf (siehe Anhang) keine reizkorrelierten *Summerkurven* hätten erstellt werden können.

Weiterhin danke ich Herrn Michael Pack von der Firma Walter Graphtek GmbH, Lübeck, der mir ein Viel-Kanal-EEG-Gerät für die Aufzeichnung und off-line-Verarbeitung der elektro-physiologischen Daten zur Verfügung gestellt hat. Ohne seinen Optimismus und seine Hilfsbereitschaft bei der Behebung technischer Mängel wäre keine EEG-Messung zustande gekommen.

Ferner möchte ich mich bei Herrn Jan Möller M.A. bedanken, der mir seinen programmierbaren Synthesizer zum Erstellen der Tonreize ausgeliehen sowie das Zurechtschneiden der Hüllkurven per Computerprogramm als Arbeitsschritt übernommen hat. Ebenfalls bei Frau Dr. med. Carola Daase, die mir im EEG-Labor der Medizinischen Hochschule Lübeck das fachgerechte Kleben von Elektroden beibrachte.

Ganz besonders möchte ich meiner Mutter danken, die mir auf den vielen arbeitsreichen und oft mühsamen Teilstrecken immer wieder Mut zugesprochen hat.

Hamburg, im September 2002

Christiane Neuhaus

1. Grundlagen

1.1. EEG-Kurven: Elektrogenese, Ableitung, Auswertung

„Elektroenzephalographie“¹ - ein von dem Jenaer Psychiater Hans Berger geprägter Begriff (1929) - bezeichnet das Registrieren und Fixieren elektrischer Spannungsschwankungen (Potentiale) von der Schädeldecke des Menschen. Technische Hilfsmittel sind scheibenförmige chlorierte Silberelektroden sowie ein EEG-Gerät mit Verstärker- und Aufzeichnungskanälen. In diesen an der Schädeloberfläche gemessenen Potentialen (synonym: EEG-Kurven) werden Erregungsvorgänge großer Populationen von Nervenzellen sichtbar.² Ursache sind biochemische Vorgänge an chemischen Synapsen³ mit erregender (exzitatorischer) sowie hemmender (inhibitorischer) Wirkung (Freisetzung von Transmittersubstanzen). Intra- und extrazelluläre Ionenfluktuationen (Stromfluß) stehen hiermit in Zusammenhang. Ionenbewegungen im *extrazellulären* Raum sind ihrerseits für die Entstehung von extrazellulären Feldpotentialen verantwortlich, welche - in Abhängigkeit von der Ableitungstechnik (Wechselspannungsverstärker mit kurzer Zeitkonstante⁴ oder mittels Gleichspannungsverstärker) - als EEG-Welle oder DC-Potential (vgl. S. 33ff) an der Schädeloberfläche registriert werden können.⁵

Neuroanatomisch gesehen ist das Entstehen von elektrischen Potentialen vor allem auf den zytoarchitektonischen Aufbau der Großhirnrinde, und innerhalb dessen speziell auf die Dendritenverästelungen [impuls-auffangende Neuronenfortsätze] der Pyramidenzellen zurückzuführen. P. Finkenzyler hatte diesbezüglich festgestellt: „Da einzelne Schichten der Hirnrinde im wesentlichen aus einem dichten dendritischen Geflecht mit zahlreichen

¹ grch. enképhalon = Gehirn, graphein = schreiben.

² nach M. Scherg *Akustisch evozierte Potentiale*, 1991, S. 7.

³ Synapse: „Verbindungsstelle einer axonalen Endigung [impulsübermittelnder Neuronenfortsatz; Verzweigungen = Kollaterale] mit einer Nerven-, Muskel- oder Drüsenzelle.“ R. F. Schmidt (Hrsg.) *Grundriß der Neurophysiologie*, S. 70.

⁴ Zeitkonstante (time constant, tc): Kenngröße aus der EEG-Meßpraxis. Sie entspricht der unteren Grenzfrequenz des eingesetzten Filters und stellt diejenige Zeitspanne dar, innerhalb derer die Amplitude eines gegebenen Rechtecksignals auf 37% ihres Anfangswertes sinkt (vgl. Cooper/Osselton/Shaw, S. 52f).

⁵ Ausführliche Darstellung der synaptischen Aktivität, der Ionenströme an Zellmembranen sowie der Genese von EEG-Wellen in: E.-J. Speckmann/C.E. Elger „Neurophysiological basis of the EEG and of DC potentials“ (Niedermeyer, E./Lopes da Silva, F. *Electroencephalography: Basic principles*, 1982, S. 1 bis 13).

synaptischen Verbindungen bestehen, sind die morphologischen Voraussetzungen für ausgedehnte Ladungsverschiebungen bei synchronem Arbeiten der Zellen gegeben“¹ (vgl. Abb.1).

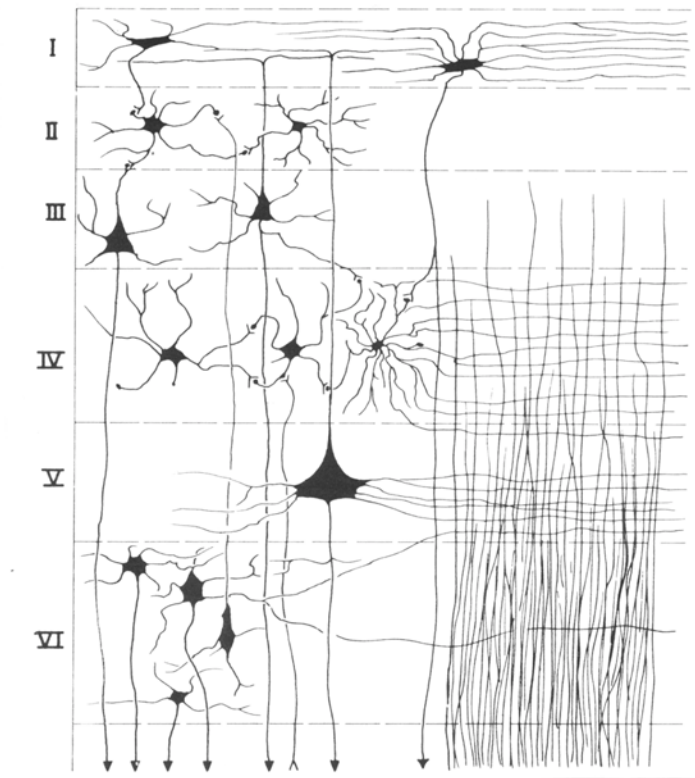


Abb.1. Sechs-schichtiger Aufbau des Isocortex; es ist die vorherrschende architektonische Struktur der Großhirnrinde. Von den verschiedenen Neuronenarten mit ihren Axonen und Dendritenverästelungen sind für die Elektrogenese insbesondere die ‚Pyramidenzellen‘ in Schicht 3 und Schicht 5 relevant (Forssmann & Heym, 1985, S. 109).

Zur Elektrogenese der Skalppotentiale (EEG-Rohsignale) gibt Mari Tervaniemi die folgende Zusammenfassung: „The EEG is a by-product of brain cells‘ information transfer in which intra- and extracellular current flows are modulated with specific membrane mechanisms. When these current flows synchronize, potential differences summate, and become strong enough to be recorded with EEG. The post-synaptic activity of pyramidal dendrites (rather than

¹ in: W. D. Keidel *Physiologie des Gehörs*, 1975, S. 266; NB: in Hinblick auf Verstärkung und Ausbreitung von Potentialfeldern haben Depolarisationsvorgänge in den Gliazellen - dem Stützgewebe innerhalb des Nervensystems - einen unterstützenden Effekt.

action potentials) in the cortex particularly possess these characteristics and is therefore regarded as the main source of the EEG Thus, in EEG, coherent activity of numerous cortical neurons (approximated by 10 000) is recorded.“¹

An der Schädeloberfläche stellt sich elektrische Hirnaktivität als ein Potentialfeld dar, welches sich über den gesamten Kopf erstreckt und an jedem Elektrodenaufsatz zu jedem Zeitpunkt eine unterschiedliche Stärke annehmen kann. Die an der Kopfhaut registrierten Spannungsschwankungen (EEG-Rohsignale) weisen dabei Amplitudenwerte von 1 μV bis 200 μV sowie Frequenzen zwischen 0,5 Hz und 50 bis 100 Hz auf. Sie sind nur in Form von Referenzableitungen (Messung gegen eine Bezugselektrode²) zu erfassen, wobei stets die Potentialdifferenz zwischen jeweils zwei Spannungspunkten auf der Kopfoberfläche gemessen und dem Eingang eines Verstärkerkanals - bei Einsatz von Differenzverstärkern - zugeführt wird.

EEG-Technik macht es einesteils möglich, Potentialdifferenzen und ihre Veränderungen mit einer hohen zeitlichen Auflösung zu bestimmen (Zeitangaben erfolgen im Millisekunden-Bereich). „Der Nachteil elektroenzephalographischer Methoden ...[besteht allerdings] darin, daß sie ihre präzise Zeitstruktur mit relativer örtlicher Ungenauigkeit über den anatomischen Ursprung einer bestimmten Spannungsschwankung erkaufen müssen“³; Schwierigkeiten beim ‚Orten‘ von elektrischen Generatoren in aktivierten Hirnarealen⁴ sind zum Teil durch die anatomischen Zwischenschichten zwischen der intracranialen Stromquelle und dem Ableitungsort bedingt, welche als elektrische Widerstände wirken (Hirnhäute, Schädelknochen, Kopfhaut).

Das *Ableitungsverfahren* als solches erfolgt nach dem ‚Ten Twenty Electrode System of the International Federation‘⁵ (kurz: 10-20 System), das von Herbert H. Jasper zum Zweck der

¹ M. Tervaniemi / T.L. v. Zuijlen „Methodologies of brain research“, 1999, S. 201.

² In der psychologischen EEG-Forschung wird in der Hauptsache die sog. unipolare Ableitungstechnik angewendet: eine Elektrode wird über einem elektrisch aktiven Hirnareal angebracht, die andere Elektrode ist über einem elektrisch relativ inaktiven Ort befestigt (Ohrfläppchen, Nasenspitze, Mastoid [Knochenvorsprung hinter dem Ohr]).

³ N. Birbaumer/R. F. Schmidt *Biologische Psychologie*, 1991, S. 459.

⁴ bekannt als ‚inverses Quellenproblem‘ vgl. M. Scherg *Akustisch evozierte Potentiale*, 1991, S. 11f.

⁵ gleichnamiger Artikel in: *Electroenc Clin. Neurophys.* 10, 1958, S. 371 bis 375.

Standardisierung von Elektroden-Plazierungen vorgeschlagen wurde:

Großbuchstaben geben die anatomische Lage des Elektrodenaufsatzes gemäß Topographie der Großhirnoberfläche an (z.B: C = zentral, F = frontal, O = okzipital, T = temporal und P = parietal). An der Mittellinie platzierte Elektroden werden mit dem Zusatz „z“ gekennzeichnet.

Elek-

troden über der linken Hirnhälfte (Hemisphäre) erhalten ungerade Ziffern, diejenigen über der rechten Hirnhälfte gerade Ziffern.¹

„Als Bezugspunkte dieses Systems gelten das Nasion (Übergang Nasenrücken - Stirn), das Inion (Einbuchtung am Hinterhauptsknochen) und die beiden präaurikulären Punkte (Vertiefung unterhalb des Jochbeins in der Höhe des Ohrs). Der Kopfumfang zwischen Inion und Nasion wird gemessen und gleich 100% gesetzt; der Punkt auf der Mitte zwischen Nasion und Inion - also bei 50% des Kopfumfanges - über der Mittellinie entspricht dem Vertex (Cz). Entlang der Mittellinie werden durch Abmessen von jeweils 20% nach vorne bzw. hinten die Lokalisation der frontalen (Fz, Fpz), parietalen (Pz), und okzipitalen (Oz) Elektroden bestimmt. Entsprechend wird die Strecke zwischen den präaurikulären Punkten (= 100%) in Abschnitte von 10% (T3), 20% (C3), 20% (Cz), 20% (C4), 20% (T4), 10% (Ohr) eingeteilt. Jeweils 20% von Fz aus in beide Richtungen werden F3, F7 (nach links) und F4, F8 (nach rechts) lokalisiert, von Pz aus P3, T5 und P4, T6 und von Oz aus O1, O2.“²

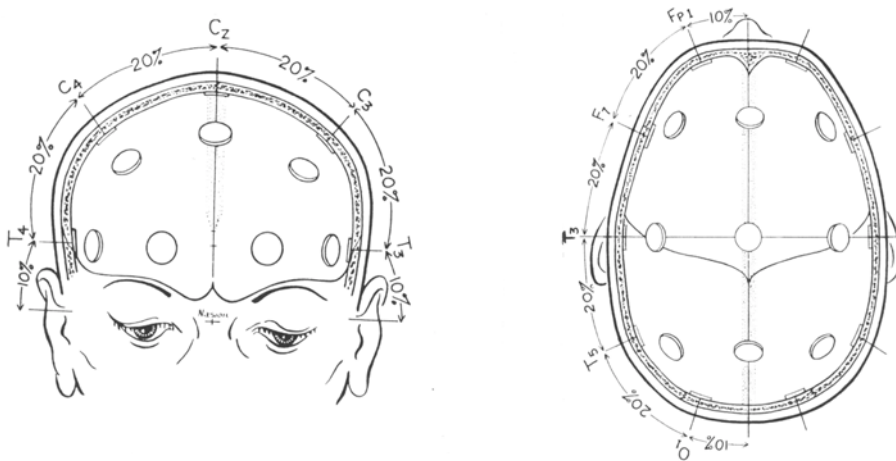


Abb.2. Schädelausmessung und Elektrodenplatzierung nach dem sog. „10-20-System“.

Figur 1: Frontalaufsicht, Figur 2: Aufsicht von oben (Jasper, 1958, S. 372).

¹ zit. nach *dtv Wörterbuch zur Psychologie*, S. 114.

² Lutzenberger/Elbert *Das EEG*, S. 61.

Ergebnis derartiger Ableitungen ist das *Elektroenzephalogramm*. Es besteht aus einer Reihe von hirnelektrischen Signalkurven, deren Anzahl je nach Zahl der angeschlossenen Kanäle variiert. Jeder einzelne dieser Kurvenverläufe stellt ein komplexes Rohsignal dar, das sich a) entweder aus der vom Gehirn in Abhängigkeit vom Schlaf-Wach-Zustand generierten natürlichen Spontanaktivität zusammensetzt (sog. ‚Spontan-EEG‘) oder b) darüber hinaus als Zusatz kleinere reizevozierte hirnelektrische Oszillationen enthält. EEG-Signale der Form a) oder b) zeigen Rhythmizität und sind deshalb im Sinne des Fourier-Theorems als „Superposition reiner Sinus- und Cosinusschwingungen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude“¹ aufzufassen, „approximativ selbst dann, wenn das Signal keinerlei Regelmäßigkeiten“¹ aufweisen würde.

EEG-Aktivität wird - entsprechend dem Theorem von Fourier - in der psychologisch orientierten EEG-Forschung in einzelne Spektralkomponenten zerlegt, die sich vier Frequenzbändern zuordnen lassen.²

Die Frequenzklassen lauten wie folgt (vgl. Abb.3):

1. Deltaband (δ): Frequenzen von 0,5 Hz bis 3 Hz sowie
2. Thetaband (θ): Frequenzen von 4 Hz bis 7 Hz:

Die Charakteristika dieser Frequenzbänder in Stichworten:

hochamplitudige Wellenformen; δ - und θ -Bänder stellen Standard-Frequenz-Bereiche im EEG von Säuglingen und Kleinkindern dar; sie geben „Auskunft über das Entwicklungsstadium des Gehirns“.³ Im EEG von Erwachsenen ein Merkmal für Tiefen-Entspannung und verschiedene Schlafphasen; ausgelöst außerdem durch Anwendung von sog. Provokationsmethoden (forcierte Atmung; klinisch-neurologischer Bereich.

¹ Rösler „Statistische Verarbeitung von Biosignalen“, S. 116.

² Anwendung des Fast-Fourier-Transformations Algorithmus, kurz: FFT.

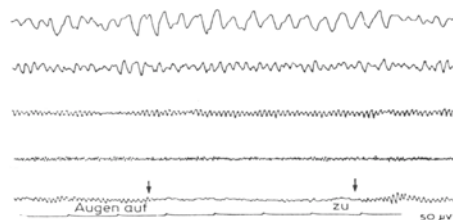


Abb.3. Zerlegung der EEG-Spontanaktivität in einzelne Spektralkomponenten. Beispiele a -d: Frequenzbänder ‚Delta‘, ‚Theta‘, ‚Alpha‘ und ‚Beta‘; Bsp. e: Blockierung des Alpha-Rhythmus durch Öffnen der Augen. (Cooper, Osselton & Shaw, 1978, S. 96).

³ Lutzenberger/Elbert *Das EEG*, S. 8.

3. Alphaband (α): Frequenzen von 8 Hz bis 13 Hz

Eigenschaften:

Kennzeichen des entspannten Wachzustands (deutlich: bei geschlossenen Augen), Ursprung in der Großhirnrinde; subkortikale Steuermechanismen (insbesondere Neuronenaktivität im Thalamus) haben eine modulierende Wirkung (im Sinne von Kopplung/Gleichlauf; vgl. die sog. „facultative pacemaker theory“ P. Andersen, S.A. Andersson, 1968); synonym für das Alpha-EEG wird deshalb der Begriff „synchronisiertes EEG“ verwendet. Sonderform innerhalb des α -Bandes: der sog. „Alpha-Rhythmus“: sinusförmige Schwingungsform, vor allem okzipital (in der hinteren Kopffregion) ausgeprägt. Andere Wellenformen des α -Frequenzbereichs: My-Rhythmen sowie Kappa-Wellen.

4. Betaband (β): Frequenzen von 14 Hz bis 30 Hz¹

Kennzeichen:

Kleinere Amplitudengröße im Vergleich zu α -Wellen; charakteristisch für Phasen gesteigerter Aufmerksamkeit und mentaler Anstrengung (Bsp.: Kopfrechnen bei geöffneten Augen), Wellenform: unregelmäßig, keine Sinusoszillationen; „desynchronisierter“ Zustand des EEGs“.²

NB: Hellmuth Petsche und Mitarbeiter haben Meßreihen zur Untersuchung der hirnelektrischen Spontanaktivität bei Vorgabe von Musikstücken komplexerer Art³ durchgeführt. Sie machen bei der Datenauswertung von drei Kenngrößen Gebrauch, die allesamt auf Spektralanalyse mittels FFT basieren.

Es sind dies die Parameter „absolute Leistung“, „lokale bzw. intrahemisphärische Kohärenz“ sowie „interhemisphärische Kohärenz“. (Analyse-Ergebnisse werden jeweils in fünf Frequenzbänder eingeteilt.)⁴

„Absolute Leistung“ - der Ordinatenwert in einem Leistungsspektrum - ist dabei ein Maß für die Intensität der hirnelektrischen Aktivität in Abhängigkeit vom jeweiligen Frequenzband (Abszisse des Leistungsspektrums) und wird definiert als quadrierter Amplitudenwert multipliziert mit der Dauer T des Analyseintervalls, Einheit: [$\mu\text{V}^2\text{sec}$].⁵ Intrahemisphärische Kohärenz-Werte zeigen den Grad der elektrischen und funktionalen Kopplung zwischen benachbarten Elektroden derselben Hirnhälfte auf, interhemisphärische Kohärenzwerte weisen auf den Grad der funktionalen Ver- oder Entkopplung an

¹ Spektralanteile mit Frequenzen über 30 Hz werden in einer weiteren Frequenzklasse, dem „Gammaband“, zusammengefaßt; dieser Frequenzbereich findet in der musikbezogenen EEG-Forschung allerdings keine Berücksichtigung.

² Lutzenberger/Elbert *Das EEG*, S.8.

³ Beispiele: Mozart „Jagdquartett“ KV 458, 1. Satz oder ein Kinderlied mit Klavier-Akkord-Begleitung.

⁴ „These bands are: theta, 4 - 7.5 Hz; alpha, 8 - 12.5 Hz; beta 1, 13 - 18 Hz; beta 2, 18.5 - 24 Hz; and beta 3, 24.5 - 31.5 Hz“ H. Petsche et al. „The EEG: an adequate method ...“, S. 135.

⁵ ebd., S.135 sowie F. Rösler „Statistische Verarbeitung von Biosignalen“, S. 118.

homologen Ableitepunkten der linken und rechten Hemisphäre hin. Beide Formen von Kohärenz- (bzw. Kreuzleistungs-)spektren geben damit die Größe des Korrelationskoeffizienten ($0 < r < 1$) für jede Elektrodenposition in Abhängigkeit vom Frequenzbereich an - graphisch aufbereitet mit Hilfe von ‚Hirnkarten‘¹ (vgl. Abb.4).

1

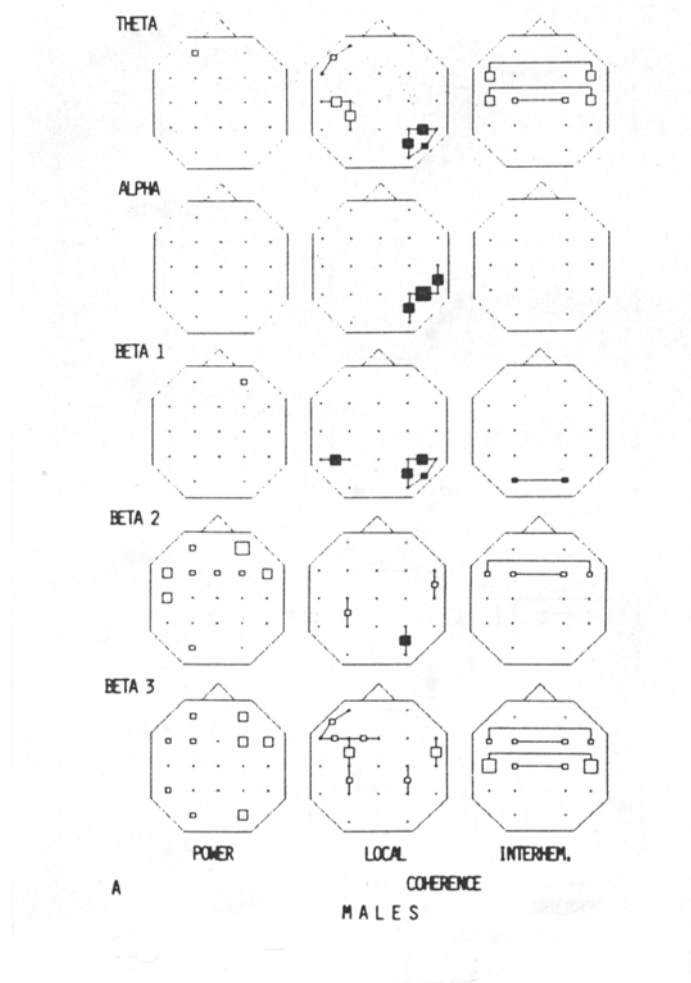


Abb.4. Beispiel für eine EEG-Analyse nach der Methode von H. Petsche: Darstellung von Leistungs- sowie lokalen und interhemisphärischen Kohärenzspektren. Signifikante Unterschiede zwischen musikalisch ausgebildeten und unausgebildeten Probanden in Bezug auf die Parameter ‚abs. Leistung‘ und ‚Kohärenz‘ sind in fünf Frequenzbändern angegeben. Ausgefüllte Quadrate: Statistisch zu belegenden Zunahme der Leistung bzw. funktionalen Verkopplung im betreffenden Hirnareal bei musikalisch vorgebildeten Vpn gegenüber musikalischen Laien. Blanke Quadrate: vice versa (H. Petsche et al., 1988, S. 144).

Ähnliches stellen auch Lutzenberger et al. fest: „Die Ermittlung von *Kohärenzspektren* (Kreuzspektren) dient der topographischen Analyse, also der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren EEG-Ableitungen; die Kohärenzfunktion gibt Auskunft über eine lineare Synchronizität zweier Ableitungen in Abhängigkeit des jeweiligen Frequenzbereichs ...“ (*Das EEG*, S. 119; kursiv im Original).

Zum Aussagewert von Kohärenzspektren stellen E. Altenmüller sowie Petsche selbst allerdings fest, daß die physiologische Bedeutung sowie der funktionale Unterschied von *Ver-* und *Entkoppelungen* in einer Hirnregion bislang nicht hinreichend erklärt werden können. Hirnkarten mit Kohärenzergebnissen unterteilt nach Frequenzbändern sind somit nur rein deskriptiv als Form der Darstellung von Synchronizität bzw. ‚Kooperation‘ zweier Hirnareale beim Hören komplexer Musikstücke zu verstehen.¹

Summa summarum liegt der Vorteil von *EEG*-Aufzeichnungen mit anschließender spektral-analytischer Auswertung darin, hirnelektrische Aktivität bei der Wahrnehmung von *komplexen* musikalischen Strukturen über eine lange Zeitspanne hinweg mit hoher zeitlicher Auflösung, also mit großer Genauigkeit in bezug auf das Zeitraster erfassen zu können.

Möglich sind allerdings - und darin besteht der Nachteil - nur globale Aussagen zu Aufmerksamkeit und Aktivierung (arousal) - meistens unter dem Aspekt der Rechts-/ Linkslateralisation, wobei hirnelektrische Spontanaktivität und davon überlagerte reizkorrelierte Spannungsschwankungen als Konglomerat in die Analyse eingehen.

Weitere Nachteile der EEG-Methode führt Hellmuth Petsche in einem Beitrag von 1988 an: „...auf einen gemeinsamen Nenner lassen sich die Ergebnisse all dieser Arbeiten noch nicht bringen, da die methodischen Voraussetzungen, unter denen die Daten gewonnen wurden, grundverschieden sind: Nicht nur die psychologischen Paradigmen wechseln von den einfachsten akustischen Reizen, vom Anbieten einzelner Töne, Klänge oder einfacher Tonfolgen bis zum Anbieten von Musik; die Ableitarten, Methoden der EEG-Registrierung, die Lokalisation der zumeist geringen Zahl von Ableitelektroden, die Auswahl der Frequenzbänder und die Methoden der Auswertung und statistischen Verarbeitung sind ebenso verschieden. Überdies wurde in den meisten Fällen nur von einer relativ geringen Anzahl von Versuchspersonen abgeleitet, deren musikalische Ausbildung nicht selten unberücksichtigt blieb. Alle diese Umstände trugen dazu bei, daß die Frage, ob mit Hilfe des EEG Veränderungen zu erfassen sind, die mit kognitiven Hirnvorgängen beim Hören von Musik in

¹ E. Altenmüller schreibt: „However, the physiological significance of the varying coherence remains unclear since both increase or decrease of coherence may occur above the same brain areas that are involved in information processing during a given cognitive task.“ (in: E. Altenmüller „Psychophysiology and EEG“, S. 598). Und H. Petsche merkt an: „Generally one has to concede that the possible significance of a functional dissociation or a local synchronization between neighbouring areas for the brain’s processing of information is still unknown. It even seems that both can hint at an increase of information processing in the regions concerned but depending on both location and frequency band.“ (H. Petsche et al. „The EEG: An adequate method ...“, S. 157).

Zusammenhang stehen, heute noch nicht verlässlich beantwortet werden kann.“¹

1. 2. Ereigniskorrelierte Potentiale: signal averaging-Methode, Nomenklatur, Komponentencharakteristik

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Beobachtung und Interpretation von hirnelektrischen Reaktionen, welche durch *externe Stimuli einer bestimmten Sinnesmodalität* (konkret: der akustischen Art) ausgelöst werden. Sie hat *nicht* die Untersuchung des kortikalen Aktivierungsniveaus einer Versuchsperson mit Hilfe der *EEG-Methode* zum Inhalt.

Reizantworten (bioelektrische Spannungsverläufe), die durch einen *einfachen* physikalischen Stimulus einer spezifischen Sinnesmodalität ausgelöst werden, heißen in der Fachliteratur ‚evozierte Potentiale‘ (Abkürzung: EPs), genauer: ‚akustisch evozierte Potentiale‘ (AEPs), ‚visuell evozierte Potentiale‘ (VEPs) oder ‚somatosensorisch evozierte Potentiale‘ (SSEPs). Sind hingegen psychologische Variablen (das Verhalten, Erleben und Erwarten einer Vpn in bezug auf den vorgegebenen Stimulus) - und weniger die physikalischen Parameter des Reizes - die primären reaktionsauslösenden Faktoren, so werden derartige Spannungsverläufe als ‚*ereigniskorrelierte* Potentiale‘ (EKPs, engl. ‚event-related potentials‘, kurz: ERPs) bezeichnet. Methodisch gesehen ist die Untersuchung derartiger Potentialkurven nicht an die beschriebene Zerlegung der EEG-Spontanaktivität in einzelne Spektralanteile (Frequenzbänder) geknüpft. Notwendig ist statt dessen ein anderer, der Analyse vorgeschalteter Datenverarbeitungsschritt, der in einem Herauslösen resp. einer ‚Filterung‘² der bioelektrischen Reizantwort aus dem Roh-EEG (d. i. Spontanaktivität plus reizkorreliertes Potential) besteht.

Folgende Sachverhalte werden in diesem Abschnitt allgemein dargestellt:

- a) Das Verfahren zur Extraktion reizbedingter Spannungsverläufe aus der EEG-Gesamtaktivität sowie

¹ H. Petsche et al. ‚Die Bedeutung des EEG für die Musikpsychologie‘, S. 112.

² Der Begriff wird aus Gründen der Anschaulichkeit verwendet; Bezug auf die Methoden der sog. ‚Wiener-‘ bzw. ‚Woody-Filterung‘ soll nicht genommen werden (beide Arten der Filterung werden erläutert in: F. Rösler ‚Statistische Verarbeitung von Biosignalen‘, S.142ff).

- b) Bezeichnungen und Merkmale einzelner Komponenten (charakteristische Halbwellen innerhalb des Spannungsverlaufs), ihre psychischen Korrelate und Konstrukte, außerdem andere verwandte Potentialformen (DC-Potentiale).

Punkt a)

Amplituden von evozierten bzw. ereigniskorrelierten Potentialen sind zumeist klein; reizbezogene Antworten werden daher von der höheramplitudigen Spontanaktivität verdeckt und sind bei Durchsicht (visueller Inspektion) der EEG-Kurven nicht zu erkennen. Zum Herauslösen der reizkorrelierten Aktivität aus dem Roh-EEG - ein Vorgang, der im Sinne der Nachrichtentechnik bzw. Elektroakustik auch als Extraktion eines *Signals* aus einer unkorrelierten Aktivität (*Rauschen, noise*) bezeichnet werden kann¹ - ist deshalb die von G. D. Dawson im Jahr 1951 vorgestellte Mittelungstechnik (synonym: signal averaging Methode) in Gebrauch. Sie wurde seit dem Einsatz digitaler Auswertungsverfahren zu Beginn der 70er Jahre in ihrer Handhabung erheblich vereinfacht.²

Signal averaging geht grundsätzlich von der Annahme aus, daß reizkorrelierte Antworten einen konstant bleibenden Zeitbezug zum auslösenden Stimulus haben.

Vorhandene Komponenten sind bei einer wiederholten Vorgabe des betreffenden Reizes daher stets zum selben, exakt bestimmbareren Zeitpunkt („time-locked to the stimulus“) zu beobachten; der spontane Rauschanteil als unkorrelierte Aktivität ist dagegen zufälligen Schwankungen unterworfen.

Die Methode entspricht vom Prinzip einem herkömmlichen Mittelungsvorgang.

Sie besteht im Detail aus folgenden Abläufen:

Nach wiederholter Präsentation eines konstant bleibenden Reizes werden sämtliche EEG-Rohsignale aus einem Registrierabschnitt aufsummiert, die Summenaktivität wird sodann durch die Anzahl der dargebotenen Stimuli dividiert. Spontanes Hintergrundrauschen reduziert sich in

¹ Cooper/Osselton/Shaw *Elektroenzephalographie*, 1978, S. 136.

² Vorläufer ist die ebenfalls von Dawson aus der Radartechnik adaptierte Methode der Überlagerung (Superposition) von hirnelektrischen Signalen mittels photographischer Summation. Bei Anwendung dieses Verfahrens sind EEG-Kurven nach mehrfacher Darbietung desselben auslösenden Reizes als übereinandergeschichtete Spannungsverläufe auf einem Kathodenstrahloszilloskop sichtbar. Der reizkorrelierte Anteil der EEG-Gesamtaktivität hebt sich - nach genauer zeitlicher Markierung des Aufzeichnungsbegins - in Form eines Kurvenstrahls deutlich vom Hintergrundrauschen des Spontan-EEGs ab. Die Überlagerungsmethode hat gegenüber der signal averaging Technik den Vorteil, „daß alle Reizantworten individuell erhalten bleiben. Der einzige Informationsverlust liegt in der Reihenfolge der Aufzeichnungen“ (Cooper/Osselton/Shaw, S. 137).

der Amplitude, der Mittelwert für jeden der abgetasteten Kurvenpunkte¹ konvergiert hierbei gegen Null. Jeder Kurvenpunkt der reizkorrelierten Antwort zeigt demgegenüber einen konstanten Amplitudenwert, der Spannungsverlauf des Nutzsignals ändert sich folglich nicht (vgl. Abb.5).

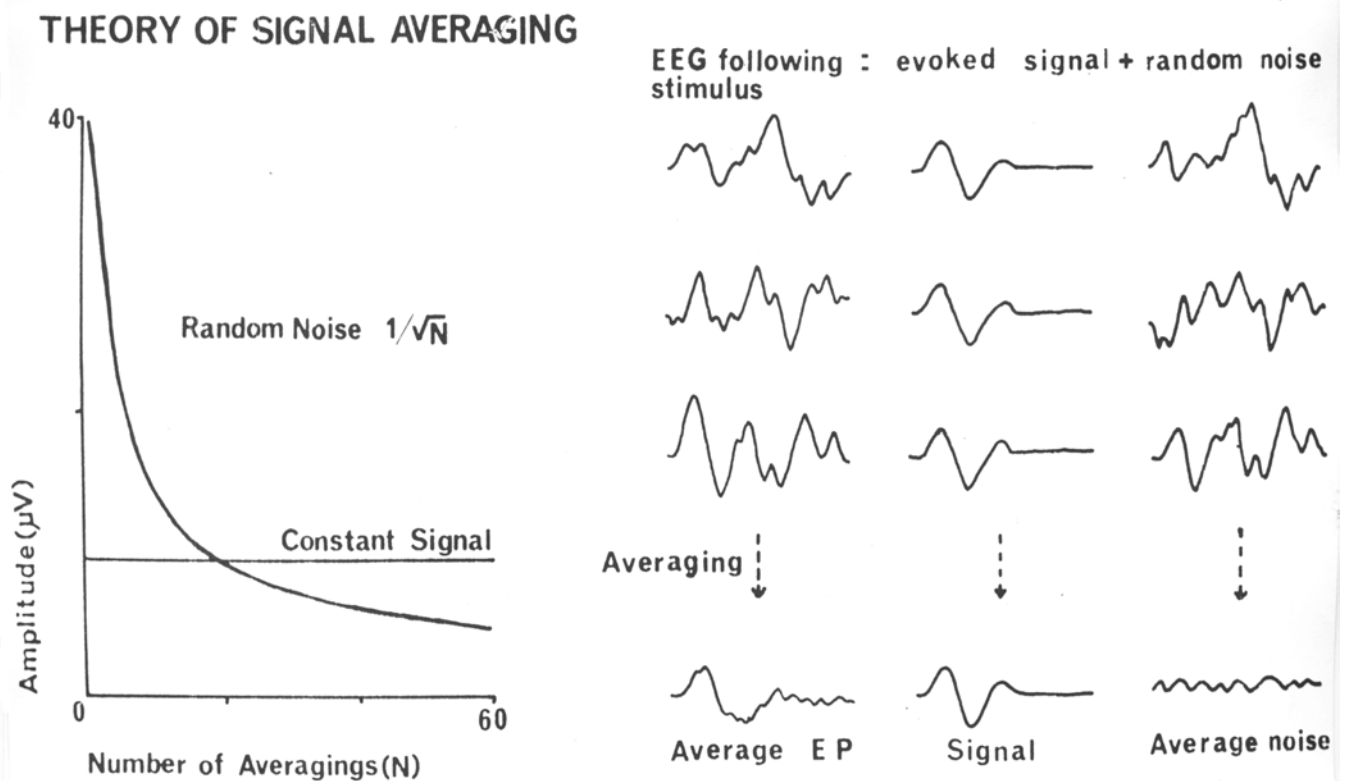


Abb.5. Illustration der signal averaging Methode (Mittelungstechnik). Unkorrelierte EEG-Spontanaktivität reduziert sich in der Amplitude, der Spannungsverlauf des reizkorrelierten Potentials bleibt konstant (Hillyard, 1983, S. 23).

¹ Die Anzahl der Abtastpunkte im jeweils untersuchten Zeitintervall ergibt sich aus der zuvor festgelegten ‚sampling rate‘. Ihre Angabe ist eine notwendige Voraussetzung für das digital durchzuführende Mittelungsverfahren (vgl. Cooper/Osselton/Shaw *Elektroenzephalographie*, 1978, S. 138).

Mathematisch gesehen wird auf diese Weise die sog. ‚signal-to-noise-ratio‘, d.h. die Relation zwischen der Spannung des Nutzsignals (d.h. des reizbedingten Potentials) und der Störspannung (EEG-Spontantätigkeit) zugunsten des Nutzsignals verändert. Der Vorgang ist mit Hilfe des ‚Quadratwurzelgesetzes zur Signal-Geräusch-Anhebung‘¹ der Form

$$\frac{\text{signal}}{\text{noise}} = \frac{\text{signal amplitude}}{\text{noise amplitude}} \times \sqrt{N}, \quad N = \text{Anzahl der in den Mittelungsvorgang eingebrachten, durch konstante Reizvorgabe ausgelösten EEG-Durchgänge}$$

zu beschreiben.

(NB: Die *reziproke* Fassung des Quadratwurzelgesetzes (Gleichung 2) gibt den Sachverhalt in korrekterer Weise wieder. Grund: Die Amplitude der reizkorrelierten Antwort wird in Wirklichkeit nicht angehoben, sondern konstant gehalten, diejenige Amplitude des Spontanrauschens hingegen reduziert.

$$\frac{\text{noise}}{\text{signal}} = \frac{\text{noise amplitude}}{\text{signal amplitude}} \times \frac{1}{\sqrt{N}}).$$

Signal averaging geht in der Theorie von der Prämisse aus, daß jeder der in den Mittelungsvorgang eingehenden EEG-Durchgänge (trials) einen *in sich homogenen* Registrierabschnitt darstellt. Die Meßpraxis zeigt allerdings, daß diese Voraussetzung der *Invarianz*, welche für ein reliables, aussagekräftiges Mittelungsergebnis vom Prinzip her unabdingbar ist, wohl in bezug auf die akustische Reizpräsentation (durch Wiederholung der Stimuli) zu erfüllen ist, aufgrund von Habituation oder möglichen Aufmerksamkeitsschwankungen jedoch nicht für den *psychischen Zustand* der Versuchsperson in der Ableitungsphase garantiert werden kann.²

Die Zusammenfassung von teilweise inhomogenen Meßstrecken zum gemittelten evozierten Potential ist damit eine Fehlerquelle, die auf die Mittelungstechnik per se zurückzuführen ist.

¹ Cooper/Osselton/Shaw *Elektroenzephalographie*, 1978, S. 139.

² Cooper/Osselton/Shaw führen darüberhinaus drei weitere mögliche Gesichtspunkte aus dem Bereich der Informationsphysiologie an, um mögliche zufällige Fluktuationen zwischen den Reizantworten erklären zu können: Zeitverzögerungen in den peripheren Sinnesorganen, unterschiedliche Impulsweiterleitung (in der zentralen Hörbahn) sowie variable Verarbeitungszeiten im Kortex selbst (ebd., S. 142f).

Untersuchungen zur Reliabilität von EP- und ERP-Resultaten lassen diesen Aspekt deshalb unberücksichtigt.¹

Punkt b)

Jedes durchgeführte signal averaging hat eine *einzelne* Potentialkurve zum Ergebnis, wobei quasi-homogene Registrierabschnitte von *einer* oder von gleich mehreren Versuchspersonen in den Mittelungsvorgang einbezogen werden können (letzteres wird als ‚grand mean‘ bzw. als ‚grand average‘ bezeichnet).

Jeder Potentialverlauf setzt sich aus positiven und negativen Halbwellen (Spannungsverschiebungen) von jeweils charakteristischer Morphologie (wave-shape) zusammen. Sie geben Auskunft über die verschiedenen Phasen des seriell angenommenen Informationsverarbeitungsprozesses.²

Positive und negative Potentialverschiebungen - in der Fachliteratur als *Komponenten (Wellen)* bezeichnet - haben somit Indikatorfunktion und stellen idealiter „discrete and interpretable units of the psychophysiological response“³ dar, in denen sich jeweils die Aktivität eines einzigen psychischen Vorgangs abbildet.

Jede Komponente wird anhand von vier Kenngrößen etikettiert und charakterisiert; Symbolbezeichnungen folgen dabei einer international verwendeten Nomenklatur:

¹ Die sog. „Einzelpotentialanalyse“ (Auswertung einzelner *ungemittelter* Spannungsverläufe) anhand derer die Homogenitätsproblematik zu umgehen wäre, hat sich meines Wissens als methodische Alternative in der Forschungspraxis nicht bewährt.

² Fabiani et al. geben zu diesem Punkt folgendes zu bedenken: „... one of the more vexing problems in ERP research is ‘component overlap’. While the ERP may appear as a *sequence* of peaks and troughs, there is no escaping the fact that many processes are *simultaneously* active in the brain, and that several such processes may have scalp manifestations *concurrently*.“ (Fabiani et al. „Definition ... of the P300 component“, S. 6; nicht kursiv im Original).

³ ebd., S. 3. Darüberhinaus weist A.W. K. Gaillard auf den Bedeutungsunterschied zwischen den Begriffen ‚Komponente‘ und ‚Welle‘ hin, die in der Fachliteratur zumeist jedoch synonym verwendet werden: „A *component* is assumed to originate from one underlying cerebral generator, whereas *waves* are dependent measures that describe the ERP waveform. A particular ERP wave or peak can be the summation of several components.“ (A.W.K. Gaillard „Problems and paradigms in ERP research“, S. 92, kursiv im Original; Ähnliches ist im Übersichtsbeitrag von E. Altenmüller in M. Stöhr: *Evozierte Potentiale*, S. 559 zu lesen.).

Es sind dies die Parameter ‚Polarität‘ und ‚(Gipfel)amplitude‘ sowie ‚(Gipfel)latenz‘ und ‚Topographie‘.

Polarität zeigt die Auslenkungsrichtung der jeweiligen Halbwelle an; der Großbuchstabe ‚P‘ bezeichnet eine positive Komponente, der Buchstabe ‚N‘ eine negative Komponente.¹

Die *Gipfelamplitude* (Einheit: μV) gibt den Wert des Scheitelpunktes bzw. der maximalen Auslenkung für die betreffende Halbwelle an.² Bezugspunkt für Amplitudenmessungen ist entweder die *technische* Nulllinie (Zeitachse, Abszisse) oder die *empirische* Nulllinie, d.h. der Mittelwert gebildet aus 30 msec Potentialaktivität prä- oder poststimulus (vor oder nach Beginn der Reizauslösung).³

Gipfellatenz, die dritte Kenngröße, die zur Charakterisierung einer Komponente erforderlich ist, wird definiert als eine durch die Nervenleitung bedingte Zeitspanne zwischen Reizauslösung und Reizantwort, zwischen dem Einschwingvorgang des Reizes also und der Ausprägung des Amplitudenmaximums. Der Wert kann mit msec-Genauigkeit auf der Zeitachse abgelesen werden.

Die *Topographie* des Ableitungsorts ist eine fakultative Angabe. Sie ist in der EP-Literatur entweder als Bezeichnung des Hirnlappens oder als Benennung der Elektrodenposition zu finden (Bsp. parietal, okzipital bzw. Pz, F3).

Summa summarum sind zur Etikettierung einer Komponente mindestens zwei Kenngrößen notwendig: Polarität und „ungefähre Latenz“⁴. Der Ausdruck bezieht sich auf den in der ERP-Forschung üblichen Sachverhalt, eine exakt bestimmbare Gipfellatenz im Rahmen einer Publikation nur als gerundete Zahl anzugeben (Beispiel eines Komponentennamens: P 300 oder

¹ Angaben zur Polarität werden qua EEG-Konvention genau entgegengesetzt zur herkömmlichen Koordinatenachsen-Beschriftung eingetragen: in EP-Skizzen befinden sich positive Halbwellen somit unterhalb und negative Halbwellen oberhalb der Zeitachse.

² Scheitelpunktbestimmung kann auf zweierlei Arten stattfinden: a) durch manuelles Ausmessen der Maximalamplitude oder b) durch Einsatz von automatischen Auswertungsverfahren.

³ Es ist im übrigen auch möglich, das sog. ‚peak to peak‘-Maß zur Amplitudenbestimmung heranzuziehen, welches im Ausmessen des Amplitudenhubs zwischen zwei *Extremwerten* (peak und trough; Spitze und Senke) besteht.

⁴ Altenmüller ‚Ereigniskorrelierte Potentiale‘ in: M. Stöhr *Evozierte Potentiale*, 1996, S.559.

N 400, nicht aber P 348).¹

Komponenten zeigen in Abhängigkeit von der Latenz ein grundsätzlich unterschiedliches Verhalten. Sie werden dementsprechend in drei Klassen eingeteilt - in exogene Komponenten, in endogene Komponenten und in Langsame Potentiale (synonym: slow waves).

Als *exogen* werden sämtliche Wellen innerhalb der ersten 100 msec nach Reiz-onset bezeichnet. Sie sind Ausdruck von „quasi ‚festverdrahteten‘ automatischen Verarbeitungsprozessen“², zeigen modalitätsbedingte, morphologische Unterschiede (als AEPs, VEPs und SSEPs)³ und zeichnen sich durch große intraindividuelle Stabilität unabhängig vom arousal level (Aktivierungsniveau, Schlaf-Wach-Zustand) der Versuchspersonen aus.

Primäres Kennzeichen exogener (akustischer) Komponenten ist ihre Abhängigkeit von Tonparametern bzw. physikalischen Reizgrößen: Modifikationen von Tondauer, Lautstärke und anderen Reizcharakteristiken (z.B. der Präsentationsrate) haben Veränderungen ihrer Wellenform zur Folge.

Exogene AEPs lassen sich zeitlich ordnen und mit Bezug auf den Stimulus-onset in drei verschiedene Subklassen unterteilen: Sieben ‚frühe‘ *AEP-Wellen* (synonym: Hirnstammpotentiale, ‚far field potentials‘) treten im Zeitintervall von 0 msec bis 10 msec auf. Es sind ausnahmslos positive peaks, die eine römische Bezifferung erhalten und Neuronenaktivität von Schaltstationen (Kerngebieten) in der spezifischen Hörbahn wiedergeben (Welle III repräsentiert beispielsweise das Zellverhalten des oberen Olivenkerns; in Welle VI und VII bildet sich Zellaktivität des Corpus geniculatum mediale, einer Zellansammlung im Thalamus ab).⁴

Weitere neuronale Erregungsprozesse im Thalamus und der primären Hörrinde haben in den sog. ‚mittleren Komponenten‘ (middle-latency components) ihr bioelektrisches Korrelat. Mittlere Komponenten sind Gipfel und Senken im Zeitbereich von 10 msec bis 50 msec, welche mit den Symbolen No und Po sowie Na, Pa und Nb versehen werden.

¹ Eine zweite Form der Komponentenbezeichnung besteht aus einzelnen, die Polarität beschreibenden Buchstaben, gefolgt von einer Kardinalzahl. Sie ist in Fachaufsätzen allerdings weniger häufig zu finden (Bsp. Pa, P3, N4; vgl. dazu z.B. E. Donchin et al. „Publication criteria for studies of evoked potentials in man“, S. 9 ff).

² Lutzenberger *Das EEG*, S. 140.

³ Abkürzung für akustisch, visuell und somatosensorisch evozierte Potentiale.

⁴ vgl. dazu auch die Beiträge von W. D. Keidel und S. Kallert in: Keidel (Hrsg.) *Physiologie des Gehörs*, 1975, S. 164 bzw. S. 227ff.

„Späte“ AEP-Komponenten im Latenzbereich zwischen 50 msec und 200 msec werden direkt im Kortex, in der akustischen Projektionsrinde sowie im Assoziationskortex generiert. Sie haben ihr Amplitudenmaximum über dem Vertex (Scheitel, Elektrodenposition Cz) und werden daher auch als Vertexpotentiale bezeichnet. Späte AEP-Komponenten sind die Wellen P1 (Gipfellatenz: 50 msec), N1 (100 msec), P2 (170 msec) und N2 (200 bis 250 msec).

Endogene ereigniskorrelierte Komponenten mit Latenzen zwischen 100 msec und 600 msec unterscheiden sich von exogenen EP-Wellen vor allem durch weitgehende Stabilität (Invarianz) gegenüber möglichen Änderungen von physikalischen Reizparametern. Lutzenberger et al. geben folgende Definition: „Als *endogen* wird eine Komponente bezeichnet, wenn (a) sie mit gleicher Charakteristik unabhängig von den genauen physikalischen Eigenschaften des Ereignisses auftritt, und (b) die Variation ihrer charakteristischen Eigenschaften (wie Amplitude und Latenz) aus psychologisch faßbaren Bedingungen heraus erklärbar ist ... Endogene Komponenten treten in der Regel frühestens 50 - 100 ms nach Reizbeginn auf und repräsentieren eher flexible, vom Organismus steuerbare Teilprozesse wie die Selektion von Information, Suchoperationen im Gedächtnis etc.“¹

Folgende Komponenten lassen sich unter dem Begriff „endogen“ subsumieren: N100 (in Doppelfunktion, sowohl exogen als auch endogen), N200 bzw. MMN (mismatch negativity), P300 sowie N400.

Von der zeitlichen Abfolge her schließen sich „*Langsame Potentiale*“ an (abgekürzt: LPs). Sie werden von Lutzenberger et al. noch zur Gruppe der ereigniskorrelierten Wellen gezählt, von E. Altenmüller jedoch als eigenständige Potentialklasse verstanden.²

LPs sind als elektrophysiologischer Nachweis für komplexe, aufgabenbedingte Informationsverarbeitungsvorgänge im Zeitintervall von 500 msec bis zu mehr als einer Sekunde zu finden.

Langsame Potentiale teilen sich in zwei Klassen auf - in sog. „*antizipatorische Potentiale*“ [z.B. die „kontingente negative Variation“ (CNV) sowie das „Bereitschaftspotential“ (BP)], „die vor einer meßbaren Verhaltensleistung entstehen“ und in sog. „*aufgabenbegleitende Potentiale*,

¹ Lutzenberger *Das EEG*, S. 140, kursiv im Original.

² ebd., S. 20, anders: E. Altenmüller „Ereigniskorrelierte Potentiale“ in: M. Stöhr, S. 558 und 566.

die *während* einer meßbaren Verhaltensleistung auftreten.“¹

Aufgabenbegleitende Potentiale sind auch unter dem Namen ‚*Direct-Current (DC-)Potentiale*‘ bekannt. Sie können mit Gleichspannungsverstärkern (Zeitkonstante: ∞) oder Wechspannungsverstärkern (mit einer Zeitkonstanten von 5 bis 10 sec) registriert werden. Sämtliche aufgelisteten endogenen Komponenten und Langsamen Potentiale werden im folgenden Abschnitt einzeln dargestellt; dazugehörige Versuchspadigmen und entsprechende psychische Korrelate sind ebenfalls aufgeführt.

N 100

„Die erste *hochamplitudige Negativierung* nach Beginn [eines] Stimulus“² wird N100 (N1-Komponente) genannt. Die N1-Amplitude hat im Latenzbereich von 90 msec bis 200 msec an Position Cz ihr Maximum (Scheitelwert: max. 10 μ V).³ Aufgrund der topographischen Angabe wird die N1-Welle auch als ‚*Vertexpotential*‘ bezeichnet. Sie tritt zumeist als sog. ‚N1/P2-Komplex‘ in Kombination mit einer positiven P2-Potentialverschiebung auf. Da die Größe der N1-Amplitude durch eine Veränderung der physikalischen Reizparameter beeinflusst werden kann, und sich in der N100-Welle erstmals auch psychische Vorgänge manifestieren, ist diese sowohl in die Gruppe der exogenen als auch in diejenige der endogenen Komponenten einzuordnen.

Als *exogene* Welle stellt die N100 eine bioelektrische Antwort auf den Reiz-attack bzw. den Stimulus-onset dar. Bei Neuloh/Curio heißt es: „Die N1 markiert ... einen *Wechsel* eines vorher konstanten Energieniveaus im auditorischen Input ... Entscheidend für die Auslösung der N1 sind also Übergangsphänomene im auditorischen Input ...“⁴.

Die Amplitudenhöhe einer akustisch evozierten N1 wird durch Modifikation der folgenden Reizgrößen beeinflusst:

- a) durch Intensität des Reizes: zunehmende Lautstärke geht mit einem Anstieg der N1- und P2-Amplituden einher

¹ E. Altenmüller in M. Stöhr, S. 567, kursiv im Original.

² G. Neuloh/G. Curio „Auditorisch evozierte EEG-Potentiale“, S. 44; nicht kursiv im Original.

³ Die Kennzeichen gelten speziell für das akustische Sinnesgebiet.

⁴ G. Neuloh/G. Curio a.a.O. S. 46; kursiv im Original.

- b) durch die ‚Frequenz‘ des Reizes: höhere Frequenzwerte (> 2 kHz) bewirken eine Reduktion der N1-Amplitude (vgl. Abb.6) sowie
- c) durch Veränderung des Präsentationsabstandes: eine Verkürzung des Interstimulus-Intervalls korreliert mit einer Abnahme der N1-Amplitude.¹

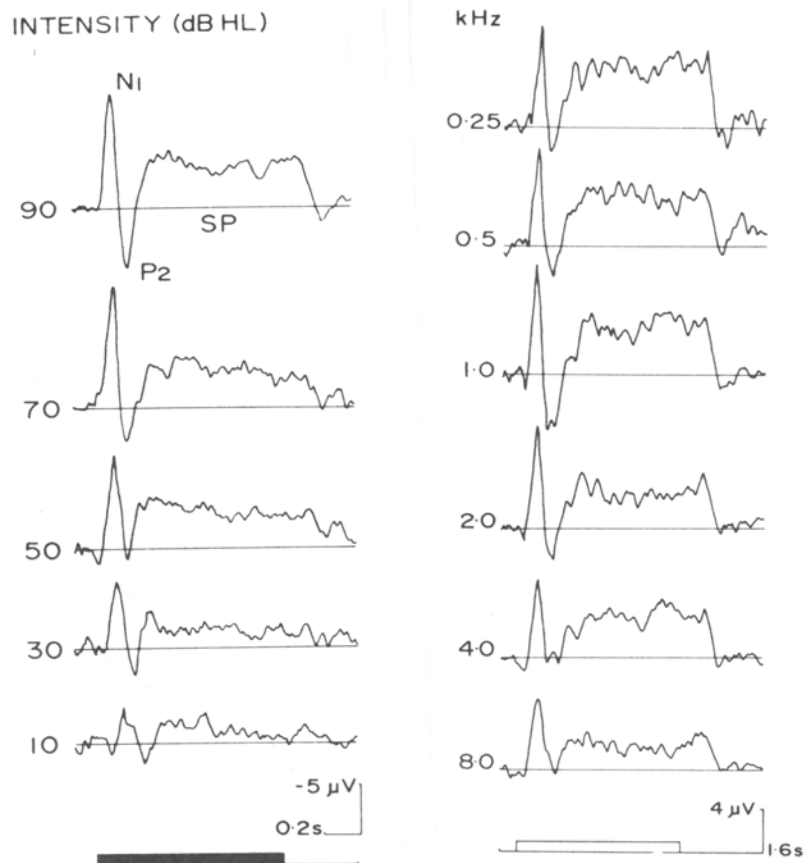


Abb.6. Die Amplituden des exogenen N1-/P2-Komplexes verhalten sich proportional zur Intensität (Skizze 1) und umgekehrt proportional zur Frequenz des betreffenden Stimulus (Skizze 2) (Picton et al., 1978, S. 200 und 203).

Faßt man die N1-Welle als *endogene* Komponente auf, so wird sie allgemein als bioelektrische Entsprechung der sog. ‚Orientierungsreaktion‘² (OR) interpretiert. Auslösendes Moment sind

¹ vgl. dazu T.W. Picton et al. ‚Human auditory sustained potentials II‘ in: *Electroenc. Clin. Neurophys.*, 1978.

² Orientierungsreaktion/Orientierungsreflex: Bezeichnung für eine unconditionierte, relativ unspezifische Reaktion des Organismus zum Zweck des schnellen und adäquaten Erfassens von veränderten Reizsituationen (entdeckt von I. P. Pawlow). Die wichtigsten Funktionen sind: verstärkte Sensibilität der Sinnesorgane, Verkürzung der Reaktionszeit sowie Erhöhung der Blutzufuhr in das Gehirn. Die Orientierungsreaktion wird durch neuartige Reize ausgelöst. Die Aktivierung der *formatio reticularis* erfolgt vom Kortex und von den Kollateralen der afferenten Bahnen (nach: *dtv Wörterbuch zur Psychologie*, S. 251 Stichwort: ‚Orientierungsreaktion‘).

neuartige oder unerwartete Stimuli; wiederholte Reizpräsentation führt hingegen zu einem Gewöhnungseffekt und bewirkt eine Habituation¹, d.h. eine Reduktion der N1-Amplitude. Fernerhin wird die N1- Welle mit Aufmerksamkeitstheorien in Verbindung gebracht.²

N 200

Unter dem übergeordneten Begriff ‚N 200‘ wird eine Anzahl negativer ERP-Komponenten subsumiert. Sie stimmen hinsichtlich des Latenzbereichs überein, sind jedoch in bezug auf die Lokalisation der zugrundeliegenden intracranialen Generatoren (bioelektrisch-aktive Quellen) sowie die auslösenden Untersuchungsbedingungen voneinander verschieden und bedürfen in Hinblick auf die Komponentenklassifikation daher eines eindeutigen Zusatzes.³

Aus dieser Gruppe wurde die Komponente N2 - besser bekannt unter dem Namen ‚*mismatch negativity*‘ (MMN) - am häufigsten untersucht.

Wichtiges Erkennungsmerkmal ist ihr Amplitudenmaximum in der frontozentralen Hirnregion sowie ihr modalitätsspezifisches Auftreten (Auslösung ausschließlich bei *akustischer* Reizung; als Ursprung der MMN-Komponente gelten allgemein Generatoren, die im primären und/oder sekundären Hörzentrum lokalisiert sind.)

Notwendige Voraussetzung für das Evozieren einer MMN ist das ‚klassische oddball-Versuchsparadigma‘ (ausführliche Erläuterung des Konzepts S. 27).

Legt man dieses Paradigma zugrunde, so stellt die MMN eine bioelektrische Indikator-Reaktion auf einen *selten* gebotenen Reiz innerhalb einer Stimulusfolge dar, welcher sich in seiner Erscheinungsform von der im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten akustischen ‚Standard‘-Information unterscheidet.

¹ ‚Dämpfung oder Hemmung einer Reaktion unter dem Einfluß wiederholten Kontaktes mit dem ursprünglich die OR auslösenden Reiz. Im Kortex werden von Reizen herrührende Erregungsmuster mit bereits vorhandenen ‚neuronalen Modellen‘ verglichen. Stimmen Erregungskonstellation und Modelle zunehmend miteinander überein, so [entfallen die Komponenten der OR].‘ (Erklärungsansatz nach Sokolow, *dtv Wörterbuch zur Psychologie*, S. 168f Stichwort ‚Habituation‘).

² Weitere Details zur N1-Komponente und ihrer Interpretation können in einem Übersichtsartikel von R. Näätänen und T. Picton nachgelesen werden (‚The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure‘ in: *Psychophysiology* 24, 1987, S. 375-425.)

³vgl. dazu die Beiträge von Näätänen/Picton ‚N2 and automatic versus controlled processes‘, 1986 und von E. Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘, 1993.

Derartige Stimulus-Abweichungen können a) die *psychoakustischen Parameter* eines Tons betreffen (Tonhöhe, Tondauer, Lautstärke, Klangfarbe) oder b) sich auf andere, zumeist zeitliche Bestimmungsgrößen des Reizes beziehen (Interstimulusintervall, Permutationen innerhalb der Stimulussequenz). Je größer sich das Quantum der Abweichung mit Bezug auf den Standard-Reiz erweist, desto größer (höher bzw. später) ist der Wert der MMN-Amplitude bzw. -Latenz, der dem Kurvenbild zu entnehmen ist.

Näätänen und Winkler geben zur MMN-Komponente folgende Kurz-Definition: „... the MMN is generated by a discriminative process, detecting any change in a sequence of sounds, using traces developed by the previous stimulation (*trace-mismatch explanation*).“¹

Für diesen auf rein sensorischer Ebene stattfindenden Diskriminationsvorgang ist ein Fokussieren der Aufmerksamkeit nicht unbedingt erforderlich; vielmehr sollte für deutlich erkennbare MMN-Wellenformen ein Zustand des Abgelenktseins hergestellt werden (sog. ‚ignore condition‘; z.B. die Situation: ‚Lesen eines spannenden Buches‘).²

Altenmüller, Curio/Neuloh und andere Neurophysiologen weisen daher auf die ‚Automatizität des MMN-Mechanismus‘ hin und fassen die MMN-Komponente als ‚Index einer vorbewußt-automatischen sensorischen Analyse von ... auditorischem Input‘³ auf.⁴

¹ Näätänen/Winkler ‚The concept of auditory stimulus representation ...‘, S. 835, kursiv im Original.

² Der Grund: bei *gerichteter* Aufmerksamkeit sind Komponentenüberlagerungen im Zeitintervall um 200 msec zu beobachten; dazu z.B. Näätänen ‚The role of attention ...‘, S. 214.

³ Neuloh/Curio ‚Auditorisch evozierte EEG-Potentiale‘, S. 50f; ähnlich auch Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘, S. 600 sowie Näätänen/Picton ‚N2 and automatic versus controlled processes‘, S. 177.

⁴ Anders verhält es sich mit der sog. *N2b*- sowie der *N2c*-Komponente - zwei weiteren Wellen aus dem zur Diskussion stehenden Latenzbereich: Jede von ihnen wird mit *bewußter* Wahrnehmung, mit gerichteter Aufmerksamkeit bzw. mit kontrollierten Verarbeitungsvorgängen in Verbindung gebracht. Wichtige Kennzeichen der *N2b*-Komponente sind a) ihre von der Sinnesmodalität unabhängige Ausprägung im frontozentralen Hirnareal, b) ihre vielfach zu beobachtende Koppelung mit einer positiven Komponente (sog. *N2b*-*P3a*-Komplex) sowie c) ihr spezifisches Auftreten dann, wenn den in Hinblick auf physikalische Parameter abweichenden Stimuli eine Bedeutung als Zielreiz (target) innerhalb einer Aufgabenstellung zukommt (dazu Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘ S. 600f). Die Komponente *N2c* wurde als bioelektrische Reaktion speziell beim Lösen von Klassifikationsaufgaben beobachtet, Zusatzbezeichnung ist daher ‚classification *N2*‘. Ihr Amplitudenmaximum befindet sich in der parietalen Hirnregion.

P 300

Die P3-[P300]-Komponente ist, dem Wortlaut des Neurophysiologen Rolf Verleger zufolge, „the most prominent of the electrical potentials of the human electroencephalogram that are sensitive to psychological variables.“¹ Ihre funktionale Bedeutung, die Lokalisation der zugrundeliegenden Generatorstrukturen sowie die Vielzahl der P3-auslösenden Versuchsparadigmen werden von Fachleuten kontrovers diskutiert und haben zu einer Fülle von Übersichtsbeiträgen geführt.²

Die P300 wurde 1965 von Sutton und Mitarbeitern unter Verwendung eines Rate-Paradigmas entdeckt (s.u.) und ist sowohl bei akustischen und visuellen Stimulusvorgaben als auch bei somatosensorischer Reizung sowie bei Reizaussparungen („omission of a stimulus“) zu finden. Wesentliche Merkmale dieser Komponente sind a) ausschließlich positive Polarität, b) ihre Ausprägung im Latenzbereich von 275 msec bis 700 msec, c) ihr Amplitudenmaximum an parietalen sowie zentralen Elektrodenpositionen. Als Ort der Entstehung werden allgemein kortikale und subkortikale Strukturen angenommen; eine wichtige aktive, P3-generierende „Quelle“ stellt die sich im Temporallappen befindende Hippocampusformation dar.³

E. Donchin interpretiert die P3-Komponente als *einzelnes* Wellental („unitary phenomenon“⁴); Squires et al., Altenmüller und andere Neurophysiologen fassen die P3-Komponente hingegen als „late positive complex“ (LPC) auf, d.h. als Bündel dreier voneinander unabhängiger Subkomponenten, die als P3a, P3b und slow wave bezeichnet werden⁵ und sich durch verschiedene experimentelle Paradigmen auslösen lassen.

Die Subkomponente *P3a* hat ihr Amplitudenmaximum früh und frontozentral im Zeitintervall von 220 msec bis 280 msec. Sie tritt bei gerichteter Aufmerksamkeit in Kombination mit einer vorausgehenden N2b-Welle auf und weist auf die Aufgabenrelevanz und Devianz von

¹ in: R. Verleger „Event-related potentials and cognition ...“ *Behav. and Brain Sciences* 11, 1988, S. 343.

² vgl. z.B. Fabiani et al. „Definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component“ in: *Advances in Psychophysiology Vol. 2*, 1987; W. S. Pritchard „Psychophysiology of P300“ *Psychological Bulletin* 89, 1981 oder R. Verleger „Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis ...“ *Behavioral and Brain Sciences* 11, 1988.

³ vgl. Altenmüller „Psychophysiology and EEG“, S. 601.

⁴ E. Donchin „Surprise? ... Surprise!“, 1981, S. 494.

⁵ Squires et al. „Two varieties of long-lasting positive waves“, S. 387-401, Altenmüller a.a.O. S. 601f, Pritchard „Psychophysiology of P300“, S. 520.

Stimuli innerhalb einer Reizfolge hin, die in bezug auf physikalische Parameter von Standardvorgaben abweichen.

Die P3a kommt auch in Situationen des Abgelenktseins („ignore condition“) - dort jedoch als Einzel-Komponente - vor.

Die „klassische“ P3- bzw. *P3b-Welle* ist im Unterschied dazu ausschließlich bei Vorgängen der bewußten, kontrollierten Informationsverarbeitung zu beobachten; fokussierte Aufmerksamkeit ist für ihre Ausprägung also eine unerläßliche Voraussetzung. Ihr maximaler peak ist centro-parietal, im Zeitintervall von 310 msec bis 380 msec zu finden.

Die Größe der P3b-Amplitude ist von der Modifikation physikalischer Reizparameter nahezu *unabhängig*, sie verhält sich jedoch proportional zum Faktor „Aufgabenrelevanz“ sowie umgekehrt proportional zur „subjektiv empfundenen Wahrscheinlichkeit“ (s.u.) und stellt in genere eine bioelektrische Reaktion auf selten präsentierte, unerwartete Zielreize dar, deren Aufgabenbedeutung nicht stimulus-inhärent ist, sondern in zuvor gegebenen Versuchsinstruktionen festgelegt wurde.

„*Slow wave*“, die Subkomponente im darauffolgenden Latenzbereich (500 msec bis 1400 msec) gibt weiterführende „komplexe, unter Zeitdruck ablaufende, kontrollierte Denkprozesse“¹ wieder und setzt ebenfalls eine Gerichtetheit der Aufmerksamkeit voraus. Wesentliches Merkmal ist ihre Polaritätsumkehr - mit einem negativen peak in der frontalen Hirnregion und positiven „Senken“ an Cz und Pz.² Zunehmende Aufgabenschwierigkeit geht dabei mit einem Anstieg des Amplitudenwertes einher. Die „slow wave“-Komponente kann an Elektrodenposition Pz als „erweiterte P3“ auftreten, ist jedoch auch unabhängig von einer vorausgehenden P3-Komponente zu beobachten.

¹ F. Rösler zit. nach E. Altenmüller in: M. Stöhr *Ereigniskorrelierte Potentiale*, S. 571.

² vgl. z.B. Fabiani et al. „Definition, identification ...“, S. 68f.

P3-auslösende Versuchsdesigns (eine Auswahl)

1. Klassisches oddball-Paradigma

Der Terminus ‚oddball‘ (dt. Übersetzung: Außenseiter, Sonderling) bezieht sich auf die Präsentationshäufigkeit (Darbietungswahrscheinlichkeit) von Reizen zumeist der akustischen Art. In einem ‚oddball-Paradigma‘ werden Versuchsteilnehmern zwei Klassen von Stimuli (mit untereinander komplementärer Wahrscheinlichkeit) in pseudo-randomisierter Folge vorgespielt. Reize der seltenen Stimulusgruppe (= deviante Reize oder Deviants) treten mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 0.05 und 0.33 auf; Reize der häufigen Gruppe (= Standard-Reize) werden mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.67 bis 0.95 dargeboten; jede Stimulusklasse kann aus *einer* (innerhalb der Sequenz mehrfach wiederholten) Reizform bestehen oder sich aus mehreren, in den Hauptmerkmalen jedoch übereinstimmenden Vertretern¹ zusammensetzen. Die Aufgabe besteht stets darin, bei fokussierter Aufmerksamkeit auf den Zielreiz (target, d.i. der seltene, i.d.R. in Hinblick auf psychoakustische Tonparameter abweichende Stimulus) zu achten, d.h. diesen Reiztypus still zu zählen oder nach jedem Bemerkten mit einem Knopfdruck zu antworten.

Seltene, unerwartete Zieltöne lösen eine P3-Komponente mit großem Amplitudenwert aus - zur P3-Ausprägung trägt demnach eine Konfundierung des probability- und des target-effects bei.²

2. Zwei-Kanal-Oddball

In diesem Paradigma werden Reize nicht beidohrig gleich (d.h. amphotisch), sondern in zwei verschiedenen ‚Kanälen‘ präsentiert; zwei Formen des Zwei-Kanal-oddballs sind möglich:

¹ Beispiel einer solchen Stimulusfolge: Reizklasse 1 (Standard-Sounds): Dur-Dreiklänge; Reizklasse 2 (deviante Sounds): Moll-Dreiklänge, jeweils auf unterschiedlichen Tonstufen präsentiert.

² vgl. Fabiani et al. ‚Definition, identification ...‘, S. 61.

Variante 1: ungleiche Stimuli treffen via Kopfhörer auf das rechte und linke Ohr (dichotische Reizung).

Variante 2: zwei Schallquellen generieren *jeweils* unterschiedliche Stimulusarten (z.B. hohe und tiefe Töne): Versuchsteilnehmer erhalten die Anweisung, „nur auf einen Kanal [zu] achten und auf dort eingestreute Zielreize (z.B. etwas längere Töne) [zu] reagieren. P3s [treten] nur nach den Zielreizen im beachteten Kanal auf.“¹

3. Oddball-Paradigma mit gleicher Präsentationswahrscheinlichkeit von Ziel- und Nicht-Zielreizen (0.5/0.5)

In diesem Design beträgt die Darbietungshäufigkeit für jede der beiden Stimulusklassen 50%. Eine auf diese Art evozierte P3-Komponente ist somit ausschließlich mit dem target- und nicht mit dem probability-Effekt zu erklären. Wie im klassischen oddball-Paradigma kann sich auch hier jede der beiden Reizgruppen aus unterschiedlichen Vertretern zusammensetzen.

4. Oddball-Paradigma mit Auslassungen (omitted stimulus paradigm)²

In diesem Fall stellt der seltene, zu zählende Zielreiz kein deviantes Tonereignis dar, sondern erscheint als ‚Lücke‘ innerhalb der Standard-Reizfolge. Die für diese ‚Ausparung‘ gemessenen Spannungskurven³ werden als ‚emitted potentials‘, nicht jedoch als ‚stimulus evoked

¹ R. Verleger *Diss.*, S. 20.

² Fabiani a.a.O., S. 61f.

³ Da exogene stimulusbedingte Wellen (insbesondere der N1/P2-Komplex) aufgrund der fehlenden sensorischen Reizung entfallen, enthalten diese Potentialverläufe ausschließlich endogene Komponenten.

potentials‘ bezeichnet. Die topographische Verteilung am Skalp entspricht derjenigen im klassischen oddball-Versuchsdesign (P3-Amplitudenmaximum an Pz).

5. Rate-Paradigma

Dieses Versuchskonzept ist das Ursprungsdesign, in dessen Rahmen die P3-Komponente erstmals beobachtet wurde (Sutton et al., 1965). Der Neurophysiologe Rolf Verleger beschreibt das Paradigma wie folgt: „Man bietet zwei verschiedene Reize dar, z.B. Lichter und Töne. In der ‘sicheren‘ Bedingung werden die Vpn jeweils über den nächsten Reiz informiert, in der ‘ungewissen‘ Bedingung müssen sie dagegen vor jedem Reiz raten, was als nächstes kommt. Ungewisse Reize [Reize von geringer, subjektiv erwarteter Wahrscheinlichkeit] lösen große P3s aus.“¹

6. Signal-Entdeckungs-Paradigma (signal detection paradigm)

Schallreize von knapp überschwelliger Intensität werden vor Hintergrundrauschen dargeboten und sollen von Probanden erkannt bzw. herausgehört werden. Das Design ist ein klassisches Paradigma aus der Psychophysik und dient der Schwellenwertbestimmung (Mithörschwelle).² Treffer (‘hits‘, Signal vorhanden und korrekt wahrgenommen) evozieren die größten P3-Amplituden. Weniger hohe P3-peaks sind bei korrekt wahrgenommenen Reizaussparungen (‘correct rejections‘), bei nicht-bemerkten Signalen (Aussparungen, ‘misses‘) und bei Fehlalarmen (‘false alarms‘, Stimulus nicht vorhanden) zu beobachten. Grundsätzlich geht Sicherheit in der Urteilsbildung mit einer Zunahme des Amplitudenwerts einher.

Insgesamt lassen folgende subjektive Faktoren und experimentelle Bedingungen (= unabhängige Variablen der internen und externen Art) eine Wirkung auf die Ausprägung der Parameter ‘P3-Amplitude‘(a) und ‘P3-Latenz‘(b) erkennen:

¹ R. Verleger *Diss.*, S. 17.

² vgl. dazu *dtv Wörterbuch zur Psychologie* Stichwort ‘Signalentdeckung‘, S. 307ff sowie J.G. Roederer *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, S. 91.

(a) Faktoren, die einen Einfluß auf die Größe der P3-*Amplitude* haben:

1. Die psychologischen Konzepte ‚Erwartung‘ und ‚Überraschung‘ als wichtige Ursachen für die Ausbildung einer P300-Welle.¹

P3-Ausprägungen als solches sind nicht mit der a priori festgelegten Stimuluswahrscheinlichkeit zu erklären, sondern sind vielmehr mit der von jeder Versuchsperson *subjektiv empfundenen Wahrscheinlichkeit* in Verbindung zu bringen, d.h. mit einem internen und keinem externen Faktor.

2. *Selten* präsentierte Zielreize (targets) zeigen größere P3-Amplituden als häufig dargebotene targets.

3. *Aufgabenschwierigkeit* und *subjektiv empfundene Aufgabenrelevanz* sind weitere Faktoren, deren Änderung eine Auswirkung auf die Größe der P3-Amplitude hat: Bei einer Reduktion der Aufgabenschwierigkeit (einfache Versuchsanweisungen) sowie bei Instruktionen ‚speed‘ vor ‚accuracy‘ (schnelle Reaktionen vor Genauigkeit) ist eine Zunahme des P3-Amplitudengipfels in oddball-Designs zu beobachten.²

4. *Visuelle Reize* lösen im Vergleich zu akustischen Stimuli größere P3-Amplituden aus;

5. *geschlechtsspezifische Unterschiede* haben einen weiteren amplitudenmodifizierenden Effekt: P3-Amplitudenwerte von Frauen sind bei identischen Versuchsbedingungen größer als diejenigen von Männern.³

(b) Faktoren, die eine Wirkung auf die *Latenz* der P3-Komponente erkennen lassen:

1. Die Latenz der P300-Komponente ist ein Maß für die Verarbeitungszeit, die zur Bewertung (stimulus evaluation) des perzipierten Reizes erforderlich ist; der Parameter ‚P3-Latenz‘ weist also darauf hin, wie lange die Vorgänge des Kodierens, Diskriminierens und Klassifizierens von Stimuli andauern.⁴

2. Nimmt die Schwierigkeit der sensorischen Unterscheidung aufgrund einer großen Ähnlichkeit von Standard- und Deviant-Reiz zu, sind entsprechend größere Latenzwerte

¹ „... it is not the objective relative frequency of events that is the crucial variable, but rather it is the perception of this relative frequency, the subjective probability or ‘expectancy’, that is the crucial variable. This is often summarized by the simple statement that ‘surprising’ events elicit a P300.“ in: E. Donchin „Surprise! ... Surprise?“, S. 499.

² R. Verleger *Diss.*, S. 30f.

³ vgl. Fabiani et al. „Definition, identification ...“, S. 70f.

⁴ C.C. Duncan-Johnson „P300 latency: ...“, S. 209.

zu registrieren.¹

3. Zielreize mit einer subjektiv größeren Wahrscheinlichkeit werden früher entdeckt, sie haben kürzere P3-Latenzen als selten erwartete targets.

4. Bei einer Interpretation der P3-Latenz sind Altersangaben der Probanden zu beachten: P3-Latenz und die subjektive Variable ‚Alter‘ verhalten sich zueinander proportional - bei jüngeren Menschen lassen sich kürzere, bei älteren Menschen längere (= spätere) P3-Latenzzeiten messen.

Zusätzlich zu den P3-auslösenden internen und externen Faktoren (unabhängigen Variablen) ist die *funktionale Bedeutung* der P300 relevant. Sie wird meistens mit dem ‚context updating‘-Modell beschrieben. Der Neurophysiologe E. Donchin hat dieses Modell in seinem Beitrag ‚Surprise‘ von 1981 folgendermaßen erklärt:²

‚Context updating‘ sei als ein Korrekturprozeß in bezug auf eine mental gespeicherte Schablone (ein Schema, Muster) zu verstehen; eine ‚cognitive map‘ wird aktualisiert, in der sämtliche, die Umwelt betreffenden Daten ‚abgebildet‘ sind. Umgestaltung (Revision) von mentalen, im Kurzzeitgedächtnis verfügbaren Repräsentationen, ist bei neuem, unerwartetem Reizinput erforderlich. In Ergänzung hierzu heißt es bei E. Altenmüller: ‚A useful concept was developed by Donchin and colleagues who relate the P-300 to a process of updating an internal model of the outer world (‘context updating model‘). In a more specific way, the P-300 is considered as a manifestation of ‘processes invoked when events occur and create a need to revise the current representation in the working memory‘ (Donchin, 1981).‘³

N 400

Die endogene Komponente ‚N400‘ (Latenzbereich: um 400 msec, Amplitudenmaximum parieto-temporal) ist ausschließlich bei der Verarbeitung von Sprachreizen, d.h. in lexikalischem Kontext zu finden. Die N400-Welle wurde erstmals 1980 von M. Kutas und S.A.

¹ vgl. E. Altenmüller ‚Ereigniskorrelierte Potentiale ...‘ in: M. Stöhr, S. 575.

² E. Donchin ‚Surprise! ... Surprise?‘ *Psychophysiology*, 1981, S. 508.

³ E. Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘, S. 601 in: E. Niedermeyer/F.L. da Silva (eds.) *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications* Baltimore, 1993.

Hillyard entdeckt und beschrieben: Sie trat als bioelektrische Reaktion auf das Final-Wort eines von Probanden still zu lesenden Satzes auf, welcher grammatikalisch korrekt konstruiert war, jedoch mit einem sinnwidrigen (= semantisch unzutreffenden Wort) endete (vgl. Fußnote 1). Groteskwörter dieser Art lösen sowohl in gesprochener als auch in gedruckter Form eine N400-Komponente aus, wobei die verschiedenen sprachlichen Elemente eines Satzes einen unterschiedlichen Effekt in Hinblick auf die Amplitudengröße haben: absurde Substantive, Verben, Adjektive und Adverbien korrelieren mit großen N4-Amplituden. Falsche Artikel, Pronomen und Präpositionen haben kleinere peaks zur Folge²; prinzipiell ist die Letzt-Position des Groteskwortes innerhalb eines Satzgefüges nicht zwingend erforderlich. Nicht nur semantisch *unsinnige* Wörter lösen eine N400-Komponente aus, sondern auch diejenigen Wörter, die sich in den Satzkontext einfügen, dabei jedoch wenig wahrscheinlich („with a low degree of semantic expectancy“)³ sind. Abweichungen *physikalischer* Art (Bsp. Modifikationen der Schriftgröße von Finalwörtern) werden hingegen durch eine späte Positivierung (P560) repräsentiert.⁴

Wurde die N400-Komponente zunächst nur als „electrophysiological correlate of the processing of semantic *incongruities*“⁵ gedeutet, hatte man diese Interpretation in ihrer Bedeutung nachträglich weitergefaßt und vertritt nun die Auffassung, „daß die N400 eher den *Grad der Verletzung semantischer Erwartung* als semantische Inkongruenz an sich widerspiegeln.“⁶

1 Beispiel-Sätze: „I take coffee with cream and *dog*.“

„He spread the warm bread with *socks*.“

„The pizza was too hot to *cry*.“ (aus: Besson/Macar „An event-related potential analysis“, 1987, S. 14, Besson „The musical brain ...“, 1999, S. 248 sowie Altenmüller, „Psychophysiology and EEG“, 1993, S. 602).

² vgl. Altenmüller „Electroencephalography ...“, S. 602.

³ loc.cit.

⁴ vgl. Besson/Macar „An event-related potential analysis ...“, S. 14.

⁵ ebd., S. 21, nicht kursiv im Original.

⁶ Altenmüller „Ereigniskorrelierte Potentiale“ in: M. Stöhr, S. 565; nicht kursiv im Original.

Langsame Potentiale

Komplexe Informationsverarbeitungsvorgänge werden bioelektrisch durch langsame Potentiale (synonym: slow waves, DC-Potentiale) indiziert.

Langsame Potentiale sind negative, niederfrequente Spannungsverschiebungen. Sie entwickeln sich spät (Anfangslatenz: 500 msec), sind oftmals von mehreren Sekunden Dauer und lassen sich mit Gleichspannungsverstärkern (direct current-, DC-Verstärkern) resp. Wechselspannungsverstärkern mit einer Zeitkonstanten von größer als 5 Sekunden registrieren.

Eckart Altenmüller teilt langsame Potentiale in zwei Klassen ein:¹

- 1) in *antizipatorische Potentiale*. Sie gehen einer motorischen oder perzeptorischen Leistung voraus. Zwei Varianten sind zu finden - a) die kontingente negative Wellenform (CNV) und b) das Bereitschaftspotential (BP)
- 2) in *aufgabenbegleitende Potentiale*. Sie können während anspruchsvoller Wahrnehmungsaufgaben oder mentaler Tätigkeit (Denkvorgänge, mental imagery, Bewegungssehen, Melodieverarbeitung) gemessen werden.

1. Antizipatorische Potentiale

a) Contingent negative variation (CNV)

Das Auslösen einer CNV ist in stärkerem Maße als die übrigen endogenen Potentialformen an das Einhalten eines speziellen Verlaufsmusters bzw. einer starren Reizfolge gebunden. Das Versuchsparadigma ist wie folgt zu beschreiben:

Ein Warnreiz (S1) kündigt einen zweiten Reiz (S2) von Aufruf- bzw. Befehlscharakter an, der die Versuchsperson zu einer Wahrnehmungsleistung oder einer Handlung (motorische Reaktion, Entscheidung) auffordert.² Im Zeitabschnitt zwischen Reiz 1 und Reiz 2 ist eine negative

¹ in: M. Stöhr *Ereigniskorrelierte Potentiale*, S. 567.

² Zur Veranschaulichung dieses Reizabfolgemusters geben Lutzenberger et al. folgende Alltagsbeispiele: „ein Blitz (S1) kündigt den Donner (S2) an; ... an der Ampel dient Gelb als Warnreiz für das imperative Rot, das den Autofahrer zum Anhalten (motorische Reaktion) veranlaßt“ (in: *Das EEG*, S. 20); bei sportlichen Wettkämpfen zeigt das „Auf-die-Plätze“-Signal dem Leichtathleten die nachfolgende Laufsituation an.

Potentialverschiebung, eben die CNV, zu beobachten (Anfangslatenz: 200 msec bis 500 msec nach ‚onset‘ des Warnreizes S1). Die CNV ist in Abhängigkeit von der Zeitspanne zwischen S1 und S2 in ein- oder zweigipfeliger Form vorhanden (vgl. Abb.7).

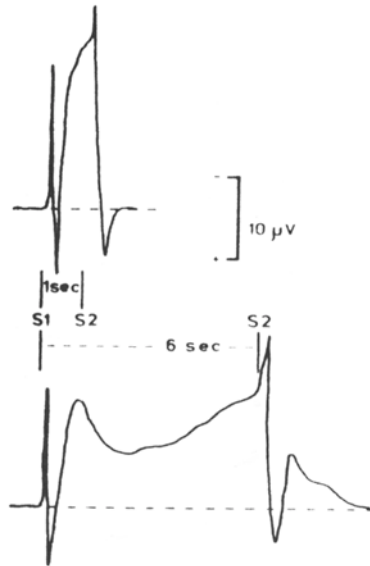


Abb.7. Verlaufsmuster der ‚contingent negative variation‘ (CNV) bei gegebenem Warn- und nachfolgendem imperativen Reiz (Position Cz). Zweigipfeligkeit ist bei einem Zeitintervall von > 3 sec zwischen Reiz 1 und Reiz 2 zu beobachten (Lutzenberger et al., 1985, S. 21).

Allgemein wird die von W. G. Walter und Mitarbeitern 1964 entdeckte CNV als ein Indikator für rein psychologische Vorgänge interpretiert: repräsentiert werden die Konstrukte ‚Aufmerksamkeit‘, ‚Motivation‘, ‚Vorbereitung‘ und ‚Erwartung‘.

Zur funktionellen Bedeutung der CNV stellt Eckart Altenmüller fest: „... der auf den Warnreiz folgende erste Anteil der CNV [ist] Ausdruck einer Orientierungsreaktion mit gleichbleibend maximaler Amplitude bilateral frontozentral, unabhängig von der erwarteten Aufgabe. Im Gegensatz dazu weist der zweite Anteil der CNV unmittelbar vor dem imperativen Reiz eine aufgabenspezifische Topographie auf: Es werden die Hirnregionen aktiviert, die an der Verarbeitung der durch den imperativen Reiz geforderten Aufgabe beteiligt sind. Eine derartige *antizipatorische Aktivierung* umschriebener Bereiche der Hirnrinde ermöglicht eine schnellere und effizientere Verarbeitung.“¹

¹ in: M. Stöhr *Ereigniskorrelierte Potentiale*, S. 567, kursiv im Original.

b) Bereitschaftspotential (BP)

Aktiven Muskelbewegungen, die bewußt intendiert und willkürlich sind, geht eine in mehreren Stufen verlaufende und verschiedene Hirnareale einbeziehende ‚Etappe‘ der *Bewegungsvorbereitung* voraus. Diese manifestiert sich in der von Kornhuber und Deecke beobachteten langsamen Potentialverschiebung namens ‚Bereitschaftspotential‘ (BP) - einer Bezeichnung, unter der ebenfalls eine interindividuell schwankende Anzahl von Unterkomponenten subsumiert wird.¹

Kornhuber und Deecke nennen drei Phasen von bioelektrischen Reaktionen, die sich im Zeitabschnitt zwischen Intention und Ausführung von motorischen Willkürbewegungen finden lassen²: a) eine frontozentral und bilateral ausgeprägte Negativierung, welche 1000 msec (bis 800 msec) *vor* der Bewegungsrealisation einsetzt, b) eine prämotorische Positivierung, die 90 msec vor den ersten Muskelaktionspotentialen entsteht und ebenfalls beidseitig in sensomotorischen centroparietalen Hirnregionen zu beobachten ist, sowie c) ein sog. ‚Motorpotential‘ - eine negative Verschiebung unmittelbar vor Bewegungsbeginn mit einer Anfangslatenz von 50 msec. Sie ist einseitig ‚über den primären Projektionsarealen des jeweils aktiven Bewegungssystems‘³ lokalisiert.

2. Aufgabenbegleitende DC-Potentiale

Denkprozesse von mehreren Sekunden Dauer, mentale Anstrengung (effort) und die Verarbeitung von komplexen, zumeist aufgabenbedingten Wahrnehmungseindrücken (Beispiel: Bewegungssehen, Musikverarbeitung) werden elektrophysiologisch durch negative Potentialverschiebungen indiziert, welche ‚direct current potentials‘ oder DC-Potentiale genannt werden. Ihre topographische Verteilung über dem Kopf ist aufgabenspezifisch verschieden (visuell-räumliche Impressionen, zum Beispiel, werden beidseitig in parietalen Hirnstrukturen verarbeitet).

¹ E. Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘, S. 608.

² in: Lutzenberger et al. *Das EEG*, S. 20.

³ loc.cit.

Grundsätzlich bilden sich in DC-shifts - im Unterschied zu den ereigniskorrelierten Potentialen
- eher *globale*, aufgabenbezogene Vorgänge ab.¹

¹ vgl. E. Altenmüller in: „Psychophysiology and EEG“, S. 603.

2. Experimentelle Beiträge zur *musikbezogenen* ERP- und DC-Forschung (Übersicht über Untersuchungsansätze, Versuchsdesigns und Ergebnisse Stand: Februar 2001)

2.1. Arbeiten zum Forschungsbereich ‚Psychophysik‘

Eines der ersten Ziele der akustisch evozierten Potentialforschung bestand darin, Zusammenhänge zwischen physikalischen Kenngrößen eines Schallsignals und objektiv meßbaren Hirnrindenpotentialen herzustellen und zu untersuchen. Seit 1962 hatte eine Gruppe von Wissenschaftlern um *W. D. Keidel* am I. Physiologischen Institut in Erlangen hierzu quantitative Messungen durchgeführt - invasiv an wachen Katzen (Implantation von Elektroden) sowie nicht-invasiv beim Menschen (Ableitung von der Kopfhaut). Untersucht wurde der Potentialverlauf der sog. ‚langsamen reizkorrelierten Gleichspannungsantwort‘ (RGA¹) mit ihrer vorausgehenden on- bzw. nachfolgenden off-Komponente (synonym: N1-/P2-Komplex)^{2,3}. Variiert wurden die Tonparameter ‚Reizdauer‘, ‚Frequenz‘ und ‚Intensität‘. Neuere Arbeiten anderer Wissenschaftler haben weniger den globalen Reiz-Reaktions-Zusammenhang zum Inhalt, sondern beziehen sich vielmehr auf Einzelaspekte aus dem Bereich der Psychoakustik.

Im einzelnen haben die am I. Physiologischen Institut in Erlangen - und in ähnlicher Weise auch von *T.W. Picton et al.* 1977/78 in den Labors von Ottawa und La Jolla - durchgeführten DC-Vertex-Ableitungen unter Verwendung von 1 kHz- oder 2 kHz-Sinustönen bzw. 1 kHz-Tonebursts von einer Sekunde Dauer⁴ folgende Resultate in Situationen des Abgelenktseins erbracht:

¹ Durch sensorische (akustische) Reizung ausgelöste Form eines Langsamen Potentials, das bei DC-Messungen zu beobachten war und von *T.W. Picton et al.* als ‚auditory sustained potential‘ bzw. als ‚sustained sensory potential‘ bezeichnet wird (*T.W. Picton et al.* ‚Human auditory sustained potentials‘ I, S. 186).

² vgl. dazu zwei Beiträge von *E. David et al.*: ‚Reizkorrelierte Gleichspannungsänderungen der primären Hörrinde an der wachen Katze‘ *Pflügers Arch.* 306, 1969a, S. 281-289 sowie ‚Akustischen Reizen zugeordnete Gleichspannungsänderungen am intakten Schädel des Menschen‘ *Pflügers Arch.* 309, 1969c, S. 362-367.

³ Als praktische Anwendung hat sich in neurologischen oder Hals-Nasen-Ohren-Abteilungen die sog. ‚objektive Audiometrie‘ (evoked response audiometry, ERA) zur Diagnose von zentralen (oder peripheren) Hörschäden herausgebildet; untersucht wird u.a. das Latenzverhalten der N1-/P2-Komponente sowie der reizkorrelierten Gleichspannungsantwort in Hinblick auf mögliche Verkürzungen bzw. Verzögerungen (vgl. *M. Spreng* ‚Langsame Rindenpotentiale ...‘ in: *W.D. Keidel Physiologie des Gehörs*, S. 340 ff).

⁴ *Keidel et al.*: Tonmaterial ‚Sinustöne‘; *Picton et al.*: Reizmaterial ‚Tonebursts‘.

1. Der Einschwingvorgang des Reizes (Phase des Reiz-attacks) wird elektrophysiologisch durch den N1-/P2-Komplex, die sog. „onset-response“, wiedergegeben; die Stimulus-Dauer bildet sich direkt proportional in der Länge der reizkorrelierten Gleichspannungsantwort ab.

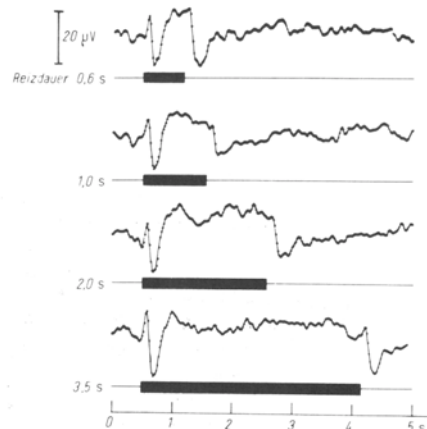


Abb.8. Reizkorrelierte Gleichspannungsantworten („auditory sustained potentials“) bei verschiedener Dauer eines 1 kHz-Sinustons von 70 dB Intensität. Jede Spannungskurve ist das grand average aus 300 Einzeldurchgängen (Keidel, 1975, S. 216).

2. Ein Anstieg des Schallintensitätspegels von 10 dB auf 90 dB hat eine Zunahme der Amplitude - sowohl der transienten N1-/P2-Komponenten als auch des reizkorrelierten Gleichspannungsanteils (sustained potential) - zur Folge (vgl. Abb. S.22).
3. Eine Steigerung der Präsentationsrate (Reizdarbietung jede 10, 5, 3 bzw. 2 Sekunden) wirkt sich in einer Reduktion der Amplituden von sustained potential und N1-/P2-Komponenten aus.
4. Höhere Frequenzeinstellungen gehen ebenfalls mit einer Abnahme der bioelektrischen Spannungswerte einher: der Gleichspannungsanteil des Kurvenverlaufs ist dabei monoton fallend, die Amplitudenwerte des N1-peaks und der P2-„Senke“ ändern sich diskontinuierlich (vgl. Abb. S.22).

D. Dalbokova und Mitarbeiter haben in ihrem Beitrag von 1988 eine weitere psychoakustische Fragestellung aufgegriffen.¹ Gegenstand ihrer Untersuchung war es, u.a. einen möglichen

¹ D. Dalbokova et al. „Selective attention in the presence of music“, *Biological Psychology*, 1988, S. 307-319.

Einfluß des Maskierungseffekts (*unvollständige Verdeckung*¹) auf die Frühphase der Informationsverarbeitung (Reizenkodierung) nachzuweisen. Elektrophysiologische Indikatoren waren insbesondere die Komponenten N100, N200 sowie P300. Methodisch wurde die Untersuchung als „two-channel auditory frequency discrimination task“² mit Hilfe von dichotischer Reizung³ realisiert (Zwei-Kanal-oddball-Paradigma); Unterhaltungsmusik war als Störsignal eingespielt. Der Proband hatte die Aufgabe, die jeweilige Anzahl der abweichenden 1000 Hz-Sinustöne in einer Folge von 1550 Hz-Standardtönen bei wechselseitigem Beachten des rechten und linken Kanals zu bestimmen.⁴ Bei Zugabe des Störschalls waren sowohl für die Standard- als auch für die Deviant-Töne verzögerte N1- und N2-Ausprägungen im „attended“ und im „unattended channel“ zu beobachten; eine späte P300 wurde ausschließlich bei fokussierter Aufmerksamkeit und devianten Stimuli festgestellt. Das Gesamtergebnis der Arbeit lautet: „The entire chain of the stimulus analysis is delayed in the presence of music.“⁵

Winkler, Tervaniemi und Näätänen gingen in ihrer N1-/MMN-Studie von 1997 der Frage nach, ob die Enkodierung von *Residualklängen*⁶ bewußt oder vorbewußt erfolge.⁷ Um die mögliche Auswirkung der Tonlänge auf den Enkodierungsvorgang zu überprüfen, wurden Stimuli mit unterschiedlicher Darbietungsdauer (150 msec bzw. 500 msec) in zwei Durchgängen angeboten. Reizmaterial waren Klänge, die aus jeweils drei Oberschwingungen aus dem Frequenzbereich von 900 Hz bis 2400 Hz bestanden. Kennzeichen der Standard-Sounds war eine fehlende Grundschwingung von 300 Hz, Besonderheit des Deviant-Klanges eine „missing fundamental frequency“ von 600 Hz; als Untersuchungsmethode wurde das oddball-Paradigma verwendet. Das Fokussieren der Aufmerksamkeit war für die Ausprägung einer N1- bzw.

¹ „... vorhanden, wenn *neben* dem Testschall (Nutzschall) ein hörbarer Störschall wirkt, der die Lautstärkeempfindung des Testschalls mehr oder weniger stark reduziert.“ E. Zwicker *Psychoakustik*, S. 35.

² D. Dalbokova et al. „Selective attention ...“, S. 307.

³ „getrenntohrig; Art der Reizung: rechts und links verschieden.“ E. M. v. Hornbostel „Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören“, S. 66f; dazu auch S. 28 dieser Arbeit.

⁴ Größe der Stichprobe: 7 Vpn; Elektrodenplatzierung an Fz, Cz, Pz, C3 und C4.

⁵ Dalbokova et al. a.a.O. S. 319.

⁶ „Klänge ... ,deren Grundton [mit der Frequenz fo] physikalisch gar nicht vorhanden ist.“ Die mit dem fehlenden Grundton (missing fundamental) verbundene Tonhöhenempfindung wird „subjektive Tonhöhe, virtuelle Tonhöhe oder Residuum genannt.“ M. Rieländer *Reallexikon der Akustik* Stichwort „Residuum“, S. 278 sowie J. G. Roederer *Physikal. und psychoakustische Grundlagen der Musik*, S. 47.

⁷ Winkler et al. „Two separate codes for missing-fundamental pitch in the human auditory cortex“ *JASA* 102, 1997, S. 1072 -1082.

MMN-Komponente nicht erforderlich.

Abbildung 9 zeigt, daß sowohl die Größe der N1-Amplituden wie auch die Ausbildung einer MMN-Komponente als Reaktion auf den devianten Residualklang von der *Dauer* der Reizpräsentation abhängen; deutliche Ausprägungen sind erst bei einer Tonlänge von 500 msec vorhanden. Offenbar stellt die Enkodierung von Residualklängen eine *bewußte* Form der akustischen Verarbeitung dar, für die eine hinreichend lange Tondauer Voraussetzung ist. Es ist zu vermuten, daß mit diesem Verarbeitungsschritt die folgenden zeit-erfordernden kognitiven Vorgänge verbunden sind: a) Merkmalerkennung, b) ein Vergleich mit mental gespeicherten Schablonen sowie c) eine Aktivierung des Langzeitgedächtnisses.

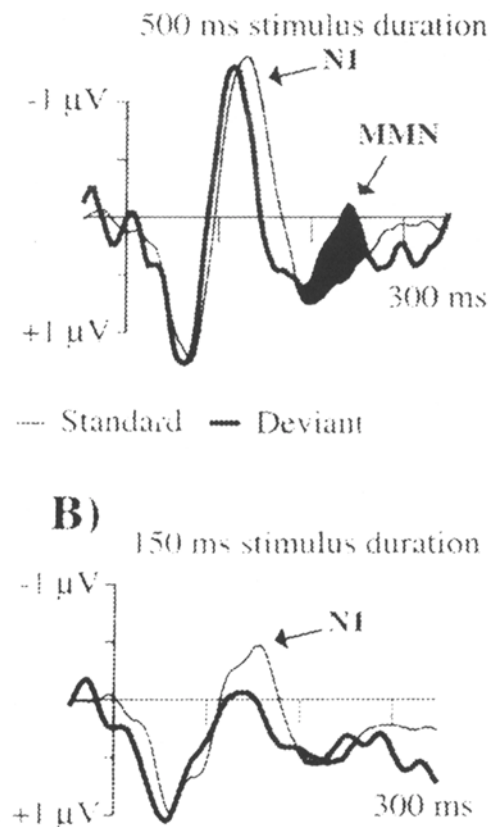


Abb.9. Einfluß des Parameters ‚Tondauer‘ auf die Verarbeitung von Residualklängen und die Ausprägung einer ‚mismatch negativity‘ (Tervaniemi, 1999, S. 241).

2.2. ERP-Studien zum ‚Absoluten Gehör‘

Die auditive Fähigkeit ‚Absolutes Gehör‘ wird von dem Musikpsychologen Albert Wellek folgendermaßen definiert:

Absolutes Gehör heißt der unmittelbare Sinn und das darauf beruhende Dauergedächtnis für die Eigenart der Töne und Tonarten als solchen ..., d.h. das mehr oder minder sichere Erkennen des Einzeltones oder -akkordes ohne Anhaltspunkte (Vergleichstöne) und Hilfsmittel. Diese Fähigkeit ist am sichersten in der Mittellage des musikalischen Tonbereichs. Nicht immer damit verbunden ist die Fähigkeit der absoluten Intonation, auch werden nicht immer alle Instrumente gleich gut beurteilt.¹

Frühe theoretische Arbeiten aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gehen von der Vererbbarkeit bzw. Anlagebedingtheit des Absoluten Gehörs aus (J. v. Kries, G. Revesz, A. Bachem, A. Wellek u.a.); neuere experimentelle Untersuchungen heben demgegenüber die Erlernbarkeit dieser Gehörleistung durch frühes Instrumentaltraining hervor (W. F. Oakes, L. L. Cuddy, D. Sergeant, L. Hurni-Schlegel u.a.).² In Beiträgen zum Absoluten Gehör wird darüber hinaus mehrfach auf Klassifizierungsvorgänge hingewiesen, die sich auf apperzeptiver Ebene unmittelbar nach der Tonwahrnehmung anschließen. Hierzu schreiben M. Tervaniemi et al.:

The AP [absolute pitch] seems to be an ability to categorize tones into familiar classes and to remember the names of the classes, rather than to remember the exact frequencies of tones Thus, they [AP possessors] can recognize the chroma (the name of the tone) but make errors in the height of the tone, in its octave.³

Nachfolgend werden vier Beiträge der musikbezogenen ERP-Forschung vorgestellt, in denen das bioelektrische Verhalten von Absoluthörern mit demjenigen von Relativhörern verglichen wird. Drei Arbeiten sind als P300-Studien konzipiert, in der vierten wurde die MMN-Komponente als elektrophysiologischer Indikator verwendet.

¹ Riemann *Musiklexikon* Sachteil 1967, Stichwort ‚Absolutes Gehör‘, S. 5; ähnlich auch die von Barnea et al. vorgeschlagene Definition des Begriffes ‚Absoluter Hörer‘: „People who have the ability to label or to produce notes without any reference are considered to possess Absolute Pitch (AP). Others, who need a reference in order to identify the notes, possess Relative Pitch (RP).“ „Absolute pitch - electrophysiological evidence“ *Int J. of Psychophysiology* 16, 1994, S. 29.

² E.-M. Heyde gibt hierzu eine ausführliche Darstellung (Kapitel ‚Erbt und/oder erlernt?‘ in: Was ist absolutes Hören? S. 159-191).

³ „Absolute pitch and event-related brain potentials“, S. 306; ähnlich Barnea et al., S. 29f sowie Hantz et al., S. 28.

Teilnehmer eines jeden Versuchs waren Musikstudenten oder professionelle Instrumentalisten. Ihre Gehörleistung wurde anhand von gesonderten Hörtests überprüft¹ und hernach eine entsprechende Gruppeneinteilung in Absolut- und Relativhörer vorgenommen.

M. Tervaniemi et al. haben in ihrer Arbeit von 1993 untersucht, ob Absolut- und Relativhörer in Tonhöhenunterscheidungsaufgaben mit einer mismatch negativity-Komponente auf abweichende Frequenzinformation reagieren.

Der MMN-Versuch hatte das oddball-Paradigma als Grundlage. Er bestand aus vier Subtests und wurde sowohl mit synthetisch generierten Klaviertönen als auch mit Sinustönen durchgeführt. Der Deviantreiz wich entweder einen Viertel- oder einen Halbton vom Standardreiz ab; eine Gerichtetheit der Aufmerksamkeit auf die binaural präsentierten Stimuli war nicht erforderlich.²

Versuchsergebnisse:

- a) MMN-Komponenten haben ein Amplitudenmaximum in der frontalen Hirnregion.
- b) Klaviertöne lösen im Vergleich zu den Sinustönen größere peaks in früheren Latenzbereichen aus.
- c) Deviante Reize, die sich im Halbtonabstand zum Standardton befinden, haben ebenfalls MMN-Komponenten mit signifikant verkürzten Latenzzeiten zur Folge.
- d) Gruppenspezifische Unterschiede zwischen den mismatch negativities von Absoluthörern und Relativhörern waren nicht festzustellen (vgl. Abb.10).

¹ Zumeist Tests zur Benennung der Tonhöhenklasse (Chroma) und Oktavlage von synthetisch generierten und in einer Zufallsfolge präsentierten Klaviertönen; Tonhöhenbereich: Subkontra- bis viergestrichene Oktave.

² Die Viertelton-Versuchsbedingung wurde in den Untertests a und b umgesetzt: In Subtest a befand sich der deviante Reiz (c+) einen Viertelton oberhalb des Standard-Bezugsreizes (c⁺), in Test b waren der Standard- und der Deviantton - im Sinne des musikalischen Transpositions- bzw. Transformationsprinzips - um einen Viertelton nach unten verschoben (c⁻- bzw. c⁻). Untertest c stellte eine Umsetzung der Halbton-Versuchsbedingung, mit der Tonkombination c⁺/cis⁺ als Standard und Deviant dar. In Subtest d wurden die um einen Viertelton transponierten Varianten (c⁺+ sowie cis⁺+) als Reizmaterial verwendet. Die Versuchsgruppe setzte sich aus acht Probanden mit Absolutem Gehör, die Kontrollgruppe aus acht Teilnehmern mit Relativem Gehör zusammen. Kopfhautelektroden wurden an den Positionen Fz, Cz, Pz sowie F3 und F4 plazierte.

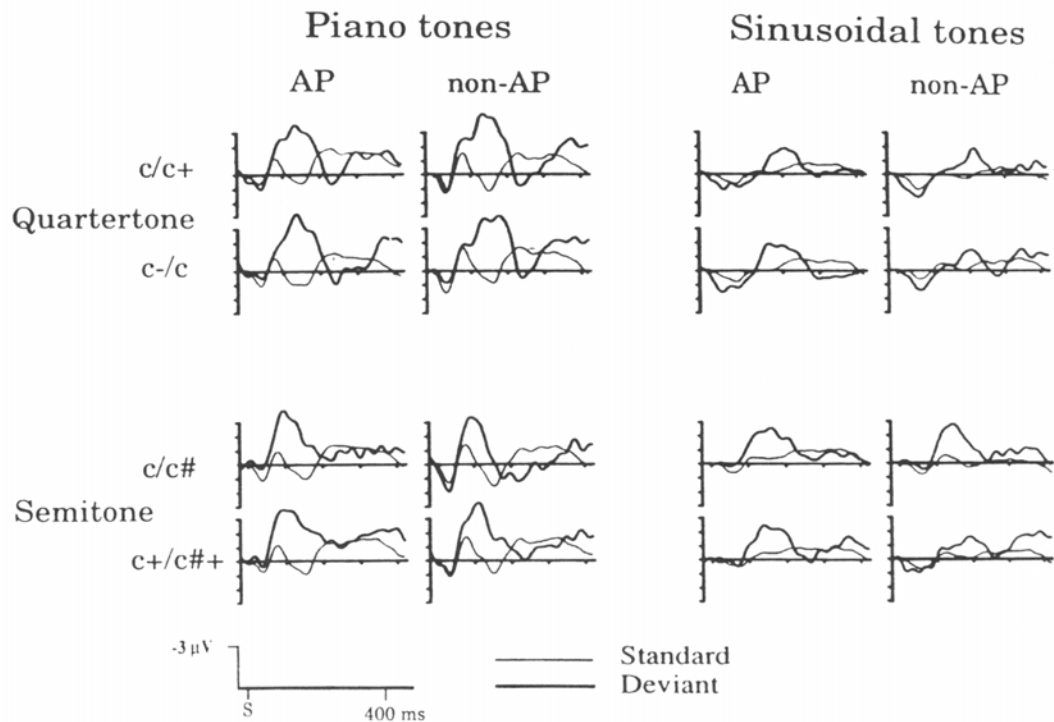


Abb.10. MMN-Komponenten von Absoluthörern (AP) und Relativhörern (non-AP) auf Viertelton- und Halbtonänderungen bei vorgegebenen Klavier- und Sinustönen (Elektrode Fz, „ignore condition“; schwarze kräftige Linie: ERP-Reaktionen auf die jeweilige Tonhöhenabweichung, Details s. Text, Tervaniemi et al., 1993, S. 311).

Die Übereinstimmungen im MMN-Verhalten von Absolut- und Relativhörern werden auf identische Verarbeitungs-Vorgänge bei der Tonhöhenunterscheidung und dem Erkennen von physikalischen Reizmerkmalen zurückgeführt. Da fokussierte Aufmerksamkeit in der vorgegebenen „ignore condition“ nicht erforderlich war, wurden - so Tervaniemis Erklärung - keine Mechanismen aktiviert, anhand derer gespeicherte Tonhöhenrepräsentationen aus dem *Langzeitgedächtnis* für das Klassifizieren (genauer: das Erkennen) von aktuell perzipierter akustischer Information zur Verfügung gestanden und Absolut Hörer von Relativhörern hätten

unterschieden werden können. Tervaniemi et al. vermuten daher, daß „pitch *discrimination* and *identification* are based on different brain mechanisms.“¹

Der bei Absoluthörern als bekannt vorauszusetzende Sachverhalt: „absolute pitch, or ‘perfect’ pitch is long-term memory for pitch“², liegt auch den P300-Untersuchungen zum ‚Absoluten Gehör‘ von M. Klein et al. (1984) und E. C. Hantz et al. (1992) zugrunde.³

Von beiden Forscherteams wurde folgende Hypothese (H1) aufgestellt:

„Deviante akustische Reize lösen keine P300-Reaktion bei Absoluthörern aus. Oder aber eine P300-Komponente, die im Vergleich zu Relativhörern eine kürzere Latenzzeit und geringere Amplitudengröße als Kennzeichen hat.“⁴

Klein et al. setzten Sinustöne von 1000 Hz und 1100 Hz als Reizmaterial ein; Hantz et al. hatten zur Prüfung der Hypothese zwei Intervall-Unterscheidungs-Aufgaben verwendet⁵, beide Versuche stellen eine Anwendung des oddball-Paradigmas dar.⁶

Die von Klein et al. bzw. Hantz et al. aufgestellte Hypothese konnte verifiziert werden:

In beiden Versuchen hatten Absolut Hörer auf gebotene deviante Reize (1100 Hz-Sinustöne bzw. deszendierende Intervalle und Mollterzen) mit einer P3-Komponente von geringer Amplitudengröße und verkürzter Latenzzeit reagiert (vgl. Abb.11).

Absolut Hörer umgehen bei der Reizverarbeitung somit die Funktionsweise des Kurzzeitgedächtnisses (in Verbindung mit einer Ausprägung der ‚klassischen‘ P300-Komponente) und ziehen für Klassifizierungs- und Tonbenennungsaufgaben statt dessen den dauerhaft gespeicherten Vorrat an Tonhöhenrepräsentationen aus dem Langzeitgedächtnis

¹ Tervaniemi et al. „Absolute pitch and event-related brain potentials“, S. 314, nicht kursiv im Original.

² E. C. Hantz et al. „Effects of musical training and absolute pitch ...“, 1992, S. 28.

³ Die Studie von Hantz et al. ist eine Replik der Untersuchung von M. Klein und Mitarbeitern, erweitert um Ausführungen zum Einfluß des Faktors ‚musikalische Vorbildung‘.

⁴ vgl. M. Klein et al. „People with absolute pitch process tones ...“, S. 1306; E.C. Hantz et al. a.a.O. S. 30.

⁵ Die Aufgabe des ersten Tests bestand darin, die Bewegungsrichtung von melodischen (sukzessiv dargebotenen) Intervallen herauszufinden (Standard-Reize: aufwärts gerichtete Intervalle, Deviant-Reize: deszendierende Intervalle.) In Test zwei wurden Kombinationen von Klein- und Großterzen als Stimuli eingesetzt (Durterzen waren Standardreize, Mollterzen zu identifizierende Deviantreize).

⁶ M. Klein und Mitarbeiter hatten mit einer Versuchsgruppe von sieben Absoluthörern und einer Kontrollgruppe von sieben Relativhörern gearbeitet; Hantz et al. hatten 35 Probanden in zwei Versuchsgruppen sowie eine Kontrollgruppe aufgeteilt (‚Musikstudenten mit Relativem Gehör‘, ‚Musikstudenten mit Absolutem Gehör‘ sowie ‚Studenten anderer Fachrichtungen‘). Hirnstromaktivität wurde an folgenden Ableiteorten gemessen: Fz, Cz und Pz (M. Klein et al.); Fz und Pz (E.C. Hantz et al.).

heran.¹

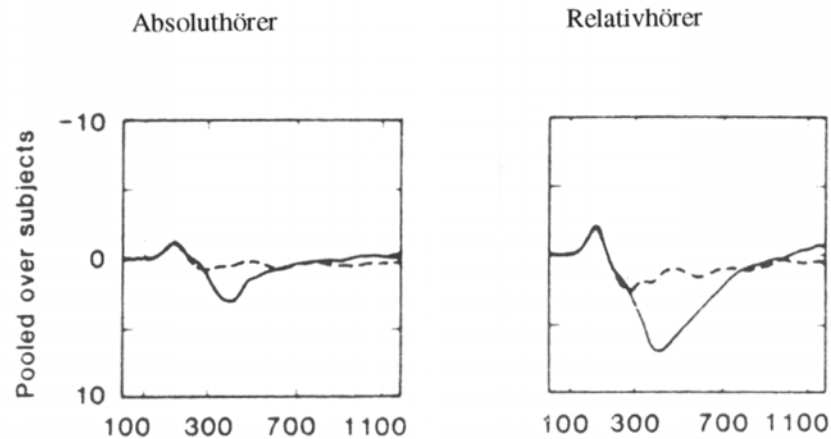


Abb.11. Absoluthörer bilden im Unterschied zu Relativhörern bei Sinustönen überhaupt keine oder nur gering-amplitudige P3-Reaktionen auf Frequenzdifferenzen von 100 Hz aus (Messung an Elektrode Pz; grand average-Darstellung, Klein et al., 1984, S. 1308).

Mit Bezug auf das ‚Versuchparadigma‘ sowie die ‚Auswahl der Stimuli‘ stellt der ERP-Beitrag zum ‚Absoluten Gehör‘ von Barnea und Mitarbeitern (1994) im Vergleich zu den zuvor publizierten ‚absolute pitch‘-Studien eine Erweiterung dar.²

Folgende visuelle (a) und akustische Reize (b) wurden präsentiert: a) Graphische Notensymbole und entsprechende Buchstaben, b) Synthesizer-Klaviertöne und Notennamen in gesprochener Form. In Ergänzung zum oddball-Paradigma wurde aus methodischer Sicht eine ‚memory-scanning task in a paradigm ... modified from the one developed by Sternberg‘³ eingesetzt. Zwei Reize bildeten hierbei das sog. ‚memorized set‘, welches einzuprägen war; sodann sollte ein Testreiz von jeweils unterschiedlicher Tonhöhe (‚probe stimulus‘) auf seine Zugehörigkeit zum ‚set‘ beurteilt werden.⁴

¹ vgl. Hantz et al. ‚Effects of musical training ... ‘, S. 36.

² Barnea et al. ‚Absolute pitch - electrophysiological evidence‘ *Int. J. of Psychophysiology* 16, S. 29-38.

³ ebd., S. 31.

⁴ Sieben Probanden mit Absolutem Gehör und elf junge Musiker mit Relativem Gehör nahmen an der Versuchsreihe teil; Kopfhaut-Elektroden waren an den Jasper’schen Punkten Fz, Cz, Pz und Oz sowie an F3 und F4, C3 und C4, P3 und P4 plazierte; akustische Reize wurden mit einer Dauer von 500 msec dargeboten.

Versuchsergebnisse:

- In der Studie von Barnea et al. haben sowohl die Relativhörer als auch die Absolut Hörer mit einer deutlichen P3-Welle auf deviante Reize reagiert. Das ist anders als in den P3-Untersuchungen von Klein et al. und Hantz et al.
- Die Ergebnisse der ‚memory-scanning‘-Aufgabe stimmen hingegen mit den Befunden von Hantz und Klein überein - die Skizze macht eine Reduktion der P3-Amplitude für Absolut Hörer sichtbar.
- Barnea et al. weisen darüber hinaus auf die bei Absolut- und Relativhörern zu beobachtende verschiedene Verteilung der P3-Aktivität über dem gesamten Schädel hin (vgl. Abb.12).

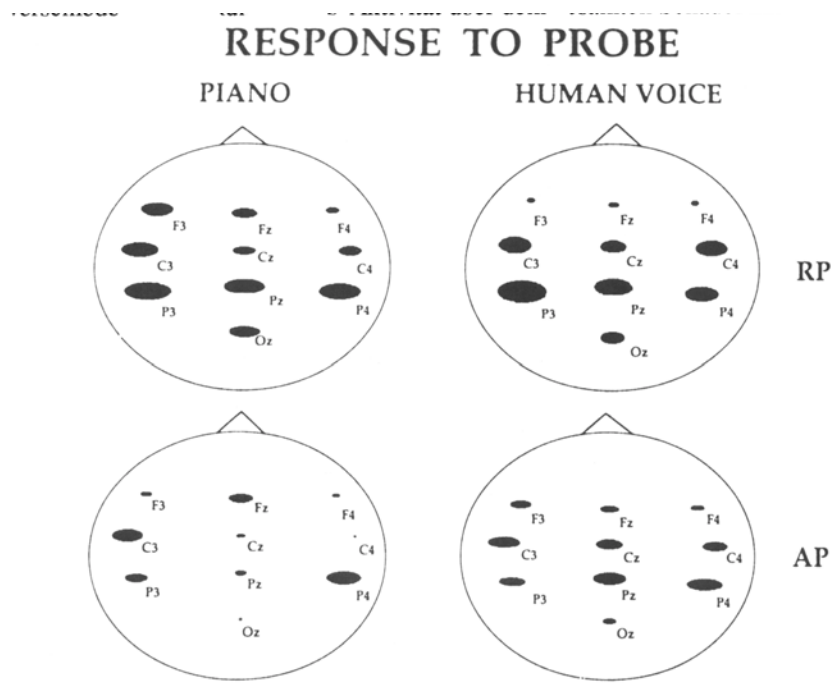


Abb.12. Barnea et al. haben P3-Komponenten nach Vorgabe von Klaviertönen bzw. Sprachreizen (gesprochene Notennamen) sowohl bei Relativ- als auch bei Absoluthörern beobachten können. Unterschiede beider Probandengruppen waren in bezug auf die Verteilung der P3-Aktivität über dem Skalp vorhanden (Barnea et al., 1994, S. 33).

2.3. ERP-Beiträge zur Intervall-Perzeption

D. Cohen und Mitarbeiter haben zwei ähnlich konzipierte Studien durchgeführt, um Probandenreaktionen auf a) Tonschritte und Tonsprünge (*melodische* Intervallkombinationen) sowie b) auf einzeln oder paarweise präsentierte Zweiklänge (*harmonische* Intervalle) zu untersuchen. Es wurden sowohl verbale Angaben von Versuchsteilnehmern als auch die Amplituden- und Latenzwerte ihrer P1-, N1-, P2- und P3-Komponenten analysiert.¹ Für das experimentelle Design wurde das oddball-Paradigma verwendet.

Cohens Versuchsreihe von 1993 enthielt drei verschiedenen Aufgaben. Test eins bot harmonische *Einzelintervalle* (kl 2, kl 3, r5) als Reizmaterial an, die mit gleicher Präsentationswahrscheinlichkeit in quasi-zufälliger Reihenfolge auf sechs verschiedenen Tonstufen vorgespielt wurden. Während des Versuchs war die Aufmerksamkeit der Probanden auf jeweils eine Intervallart zu richten.

Das Tonmaterial des zweiten Subtests setzte sich aus verschiedenartigen *Tonschritten und -sprüngen* zusammen (Prim, gr. Sekunde ↓ und große Sept ↑), die in einer zweitaktigen Sequenz dargeboten wurden. Test Nummer drei stellte die *Zweiklänge* kl2, kl3, r5 in zufälligen Kombinationen vor. Das zweite Intervall wurde jeweils auf einer anderen Tonstufe vorgespielt; Zweiklangs-Paare waren in Hinblick auf Identität zu beurteilen.²

Versuchsergebnisse (Auszug):

Mollterzen haben in Subtest eins und drei (harmonische Intervallaufgaben) P3-Komponenten von geringer Amplitudenhöhe ausgelöst, die sich im größten zeitlichen Abstand zum Reizonset befanden. Sekund- und Quintklänge hatten P3-Wellen von größerem Amplitudenwert und geringerer Latenzzeit zur Folge. Das unterschiedliche Amplituden- bzw. Latenzverhalten von

¹ D. Cohen et al. „Cognitive meanings of musical elements as disclosed by event-related potential (ERP) and verbal experiments“ *Music Perception 11*, 1993 sowie D. Cohen et al. „Response to intervals as revealed by brainwave measurement and verbal means“ *JNMR 23*, 1994.

² Sämtliche Intervalltöne sind auf dem Synthesizer im Instrumentalsound „Klavier“ erstellt worden; alle neun Versuchsteilnehmer hatten musikalische Vorkenntnisse. Ag-/AgCl-Elektroden wurden nach dem 10-/20-System an den Meßpunkten Fz, Cz, Pz sowie C3 und C4 plaziert.

P3-Komponenten nach Wahrnehmung der drei Intervallarten wurde anhand einer U-förmigen bzw. invers U-förmigen Verteilung¹ dargestellt (vgl. Abb.13).

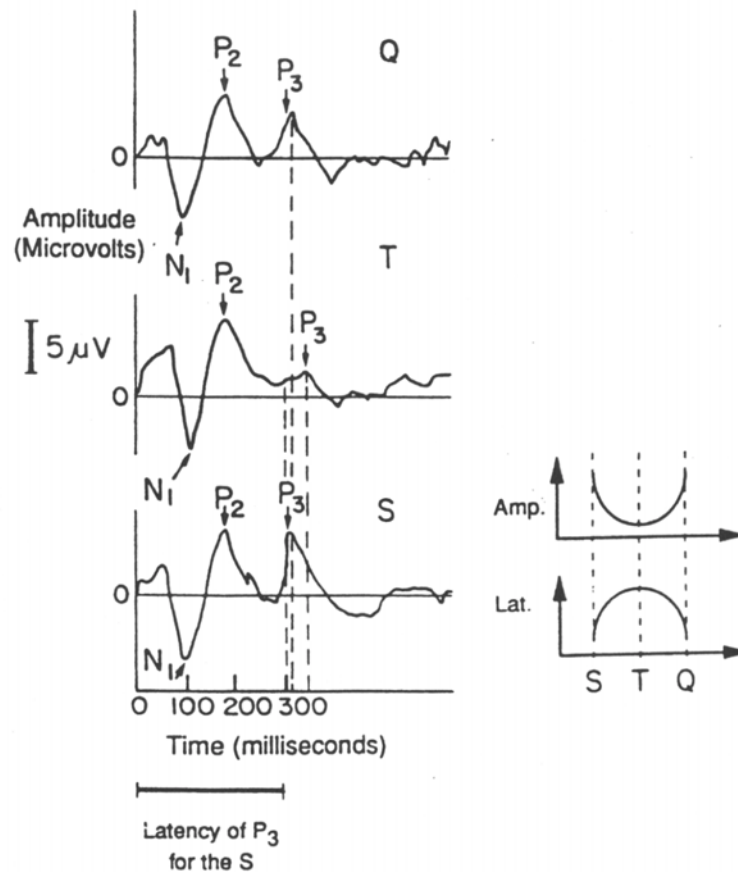


Abb.13. ERP-Komponenten (N100, P200 und P300) als Reaktion auf dargebotene Zweiklänge (kleine Sekunde (S), kleine Terz (T) und reine Quinte (Q)); Messung an Position Pz). Darstellung der Amplituden- und Latenzwerte in Form einer U-förmigen bzw. umgekehrt U-förmigen Kurve (Cohen et al., 1993, S. 162).

¹ „Statistische Bezeichnung für eine U-förmige Verteilung von Daten oder Beziehungen; die Umkehrung einer Normalverteilung“. *dtv Wörterbuch zur Psychologie*, Stichwort „U-Kurve“, S. 350. Vgl. auch G. Clauß/H. Ebner *Grundlagen der Statistik*, S. 67: „Die U-förmige Kurve zeigt, daß die extremen Meßwerte häufig, die mittleren Werte dagegen relativ selten auftreten. ... [Die U-Kurve] ist ... zweigipflig (bimodal). Die beiden Gipfel liegen an den Enden der Verteilung. Die Intensitäten von Einstellungen und Meinungen verteilen sich in Stichproben vielfach nach diesem Muster.“ Es ist zu beachten, daß die von Cohen et al. beschriebene U-Funktion *keine* Häufigkeitsverteilung darstellt. Ordinatenwerte geben hier gemessene physikalische Größen wieder (Amplituden- bzw. Latenzwerte; Einheit μV bzw. msec). Die Art der untersuchten Intervalle (z.B. Prim, kl 2, gr 6) ist auf der Abszisse abgetragen.

Cohens zweite ERP-/Verbal-Studie zur Intervallwahrnehmung (1994) stellt in bezug auf die Präsentationsrate gegenüber derjenigen aus dem Jahr 1993 eine Erweiterung dar:¹ Einzelne Zweiklänge (kl 2, kl 3 und r5) wurden a) mit gleicher Darbietungswahrscheinlichkeit (wie in Studie 1) oder b) im Sinne des klassischen oddball-Designs mit ‚verschobener‘ Auftretenshäufigkeit zwischen den Standard- und Deviantintervallen dargeboten.

Die wichtigsten Versuchsergebnisse lauten:

- a) Wurde der dissonante Klang (kl 2) bei objektiv vorgegebener gleicher Stimulus-Präsentationsrate als Zielreiz deklariert, so löste er den größten P3-peak, die unvollkommene Konsonanz (kl 3) hingegen die geringste P3-Amplitude aus (vgl. Abb.14).

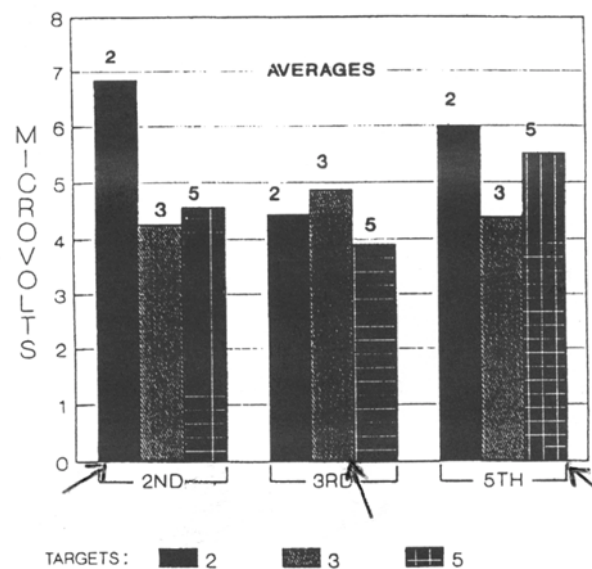


Abb.14. Fokussierung auf die kleine Sekunde, die kleine Terz oder die reine Quint löst verschieden große P3-Amplituden in bezug auf das betreffende Zielintervall (vgl. Pfeil) und in bezug auf die jeweils nicht-beachteten Zweiklänge (non-targets) aus (Cohen et al., 1994, S. 276).

Intervalle werden, so lautet Cohens Untersuchungsergebnis, - bedingt durch ihren spezifischen Konsonanzgrad (Dissonanz, vollkommene sowie unvollkommene Konsonanz) - selektiv verschieden wahrgenommen; elektrophysiologisch manifestiert sich dieser Perzeptions-Vorgang in Größenunterschieden der entsprechenden P3-Amplituden.

- b) Das Fokussieren der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Intervallart wirkt sich ebenfalls auf die Größe der P3-Amplituden von *Nicht-Zielreizen* (*non-target-Intervallen*) aus:

¹ Sieben musikalisch vorgebildete Versuchspersonen nahmen am ERP-Experiment teil. Kopfhautelektroden wurden an den Meßpunkten Fz, Cz, Pz, F3 und F4, C3 und C4 sowie P3 und P4 angebracht.

Die Wahrnehmung der Mollterz als eines nicht-fokussierten Intervalls, zum Beispiel, hat einen höheren Amplitudenwert zur Folge, wenn sich die Aufmerksamkeit des Probanden auf die Dissonanz (kl 2) und nicht auf die vollkommene Konsonanz (r5) richtet (siehe Abb.14, mittlere (= schraffierte) Säulen der Histogramm-Darstellung).

2.4. ERP-Ergebnisse nach Vorgabe von einzelnen Akkorden und Kadenzen

Taub et al. und E. Altenmüller haben sich in ihren Beiträgen die Frage nach der funktionalen Differenzierung des Cortex (Hemisphärenspezialisierung) bei der Wahrnehmung von *einzelnen Dreiklängen* gestellt.¹ Ein anderes Design wurde von P. Janata und - darauf aufbauend - von Hantz et al. gewählt: Sie setzen sich in ihren Aufsätzen mit der kognitiven Verarbeitung von kongruenten und inkongruenten Schlußakkorden in *Kadenzmodellen* auseinander.²

Taub et al. hatten computergenerierte Dur-, Moll- und verminderte Dreiklänge in Grundform eingesetzt. Die Akkordformen wurden in Zufallsfolge monaural³ per Kopfhörer dargeboten und aufmerksam zuhörenden Probanden gleich häufig entweder über den rechten oder den linken Kanal eines Tonbandgerätes vorgespielt.⁴ Ausgewertet wurde Wellenaktivität aus dem Latenzbereich von 0 msec bis 250 msec - also Amplituden- und Latenzwerte der exogenen Komponenten P1, N1 und P2.

¹ J. M. Taub et al. „Hemisphere and ear asymmetry in the auditory evoked response to musical chord stimuli“ *Physiological Psychology* 4, 1976, S. 11-17; E. Altenmüller „Hirnelektrische Korrelate der cerebralen Musikverarbeitung beim Menschen“ *Eur. Arch. Psychiatr. Neurol. Sci* 235, 1986, S. 342-354.

² P. Janata „ERP measures assay the degree of expectancy violation of harmonic contexts in music“ *J. Cogn. Neuroscience* 7, 1995, S. 153-164; E.C. Hantz et al. „Neural responses to melodic and harmonic closure: an event-related-potential study“ *Music Perception* 15, 1997, S. 69-98.

³ (gr.; lat.) „einohrig, ein Ohr betreffend“; NB: Untersuchungen zur Frage der funktionalen rechts-links-Differenzierung der Großhirnrinde wurden einige Jahre zuvor auch von der Neurowissenschaftlerin Doreen Kimura durchgeführt; Meßmethode war der sog. „dichotische Hörtest“ (hierzu z.B. ihr Beitrag „Functional asymmetry of the brain“, 1967).

⁴ 14 männliche Vpn mit geringer musikalischer Vorbildung nahmen am ERP-Experiment teil; Elektroden wurden an den Jasper'schen Meßpunkten C3 und C4 über der zentralen Hirnregion sowie über dem sog. Wernicke-Areal W1 und dem rechtshemisphärischen Gegenstück W2 angebracht. (Als „Wernicke-Areal“ wird dasjenige kortikale Feld im linken Parietotemporalappen bezeichnet, in dem sich das zweigeteilte sensorische Sprachzentrum befindet - das akustische Sprachzentrum für das Verstehen von Lautäußerungen sowie das optische Sprachzentrum für das Verstehen von geschriebener Sprache; dazu z.B. Popper/Eccles *Das Ich und sein Gehirn*, S. 359ff).

Versuchsergebnisse:

1. ‚Trough-to-peak‘-Amplitudenmessungen zwischen dem N1-Gipfel und der P2-Senke haben die größten signifikanten Werte an Elektrodenposition W2 der *rechten* Hirnhälfte bei Reizung des *linken* Ohrs ergeben (vgl. Abb.15). Die *rechte* Hirnhälfte von Probanden mit geringen musikalischen Vorkenntnissen (vgl. Fußnote 4, S. 50) ist folglich auf die Verarbeitung von nicht-sprachlichen Reizen spezialisiert.
2. Monaurale linke bzw. rechte Reizpräsentation hatte auf die *Latenz* der P1-, N1- und P2-Komponenten keinen Einfluß.

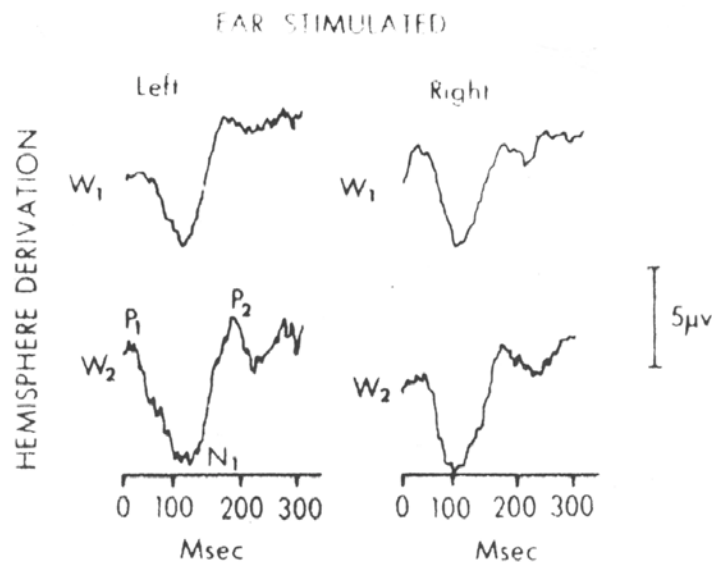


Abb.15. Akustisch evoziertes Potential (P1-, N1- und P2-Komponente) eines männlichen Probanden nach monaural dargebotenen Dreiklängen. Hirnelektrische Aktivität gemessen an W1 (linkshemisphärisch, über dem Wernicke-Areal) und an W2 (homologe Elektrodenplatzierung über der rechten Hirnhälfte; Taub et al., 1976, S. 13).

Eckart Altenmüller hat die Frage der Großhirn-Lateralisierung in einer umfassenden *DC*-Potentialstudie mit Hilfe von Musik-, Rechen- und Sprachaufgaben untersucht; ebenfalls einbezogen waren polygraphische Messungen¹. Auszüge des Beitrags, die sich auf den Akkord-Vergleich sowie auf die Unterscheidung von Tonhöhen in Melodiesequenzen beziehen, werden hier und auf S. 66f dieser Arbeit dargestellt.

¹ Ein Polygraph (Mehrkanalschreiber) macht die *simultane* Aufzeichnung von verschiedenen psychophysiologischen Funktionen möglich (z.B. Atem- und Muskeltätigkeit sowie die Veränderung des galvanischen Hautwiderstandes) vgl. *dtv Wörterbuch der Psychologie* Stichwort ‚Polygraph‘, S. 264.

Negative langsame Spannungsverschiebungen (DC-Potentiale, vgl. S. 35f) sind an homologen Meßpunkten der rechten und linken Hemisphäre mittels transversaler bilateraler Ableitungen gemessen worden.¹ Versuchspersonen wurden nach den Kriterien ‚Händigkeit‘ und ‚musikalische Vorbildung‘ ausgewählt; jeweils 20 Berufsmusiker, Musikamateure und Probanden ohne musikalische Vorkenntnisse nahmen an der Untersuchung teil.

Die Höraufgabe bestand im ‚Durchhören‘ von Akkordpaaren (Dreitonschichtungen), die nahezu identisch konstruiert waren. Die Ausnahme bildete jeweils ein einzelner Ton, dessen ‚Standort‘ innerhalb des Akkords (‚unten‘, ‚mitte‘, ‚oben‘) vom Probanden genau bestimmt werden sollte.

Die Versuchsergebnisse:

Beim Akkordvergleich hatten 49% der Versuchsteilnehmer die rechte Hirnhälfte aktiviert, 40% hatten das Klangmaterial in der linken Hirnhälfte verarbeitet. Weitere 11% der Probanden setzten hierfür beide Hirnhälften in gleicher Weise ein. Eine Differenzierung der Resultate war in Hinblick auf die Gruppenstruktur (Selektionskriterium ‚musikalische Vorbildung‘) möglich: Musikamateure und Testpersonen ohne musikalische Vorkenntnisse zeigten in der Mehrzahl eine *Rechts*lateralisierung, Berufsmusiker bildeten Amplitudenmaxima häufiger in der *linken* Hirnhälfte aus (vgl. Abb.16).

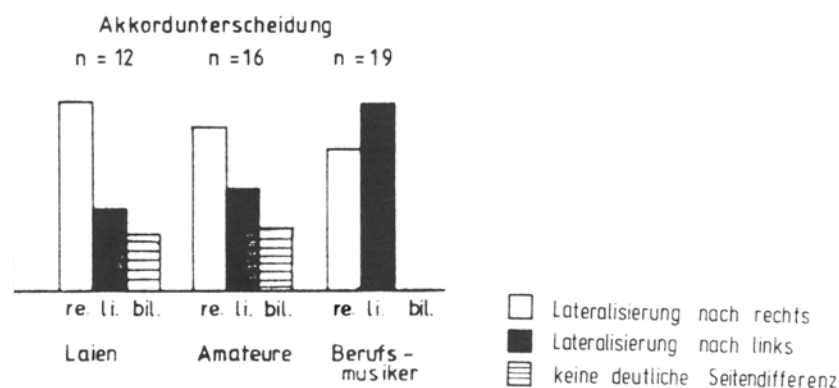


Abb. 16. Balkendiagramm zur Lateralisierung von DC-Potentialen (rechte und linke Hirnhälfte, bilateral = keine signifikante Seitendifferenz) bei musikalischen Laien, Amateuren und Berufsmusikern. Aufgabenstellung: Durchhören von Akkorden (Altenmüller, 1986, S. 350).

¹ dazu Altenmüller ‚Hirnelektrische Korrelate ...‘, S. 345; sein Positionierungsschema für die 14 Elektroden lautet: F3/F4, F7/F8, C1/C2, C3/C4, T3/T4, PT3/PT4 und P3/P4. Am Scheitelpunkt Cz wurden außerdem unipolare Standardableitungen zwischen einer aktiven Elektrode und zwei inaktiven Referenzelektroden geschaltet.

Altenmüller kommt zu dem Schluß, daß der Begriff der ‚Hemisphären*dominanz*‘ aufgrund der bilateralen Tätigkeit des Cortex ‚stets relativ und nicht absolut zu verstehen [sei]‘¹. Die stärker linkshemisphärische Aktivierung bei Berufsmusikern weist erneut auf die - als bekannt vorauszusetzende - analytisch-sequentielle Arbeitsweise eben dieser linken Hemisphäre hin.²

Akkordprogressionen in *Kadenzmodellen* erzeugen Erwartungshaltungen, sie lösen ihrerseits ereigniskorrelierte Reaktionen auf bioelektrischer Ebene aus. P. Janata sowie E.C. Hantz und Mitarbeiter haben in ihren Beiträgen ERP-Komponenten als Indikatoren für eine derartige ‚harmonic expectancy‘ bzw. ‚expectancy violation‘³ untersucht. Als Tonmaterial waren Kadenzwendungen in Gebrauch, die mit sog. ‚authentischen Schlüssen‘⁴, mit Vertreterklängen oder Dissonanzen endeten. Beiden Studien lag ein Versuchsparadigma zugrunde, das zuvor von M. Kutas und S.A. Hillyard im Rahmen von Sprach-/ERP-Untersuchungen entwickelt worden war. Die Aufgabenstellung des Originaldesigns bestand im lautlosen Lesen sinn-tragender Sätze, deren Wortfolge via Monitor sukzessive eingeblendet wurde (ausführlich S. 31f). Kennzeichen dieser Sätze waren semantisch korrekte oder vice versa semantisch inkorrekte Endungen - ein Beispiel: ‚He spread the warm bread with *socks*‘. Semantisch unzutreffende Finalwörter hatten eine N400 zur Folge; die Größe der N4-Amplitude (mit einem Maximum im posterioren Hirnareal) verhielt sich umgekehrt proportional zum Grad der Worterwartung⁵ (vgl. Abb.17). Inkongruenzen der grammatikalischen Art und optische Veränderungen des Schriftbildes lösten keine N400, sondern eine Komponente der P300-Gruppe aus.

¹ E. Altenmüller ‚Hirnelektrische Korrelate ...‘, S. 352.

² vgl. dazu z.B. Bever/Chiarello ‚Cerebral dominance in musicians and nonmusicians‘ *Science* 185, 1974, S. 537-539.

³ P. Janata ‚ERP measures assay ...‘, S. 154.

⁴ ‚harmonische Schlußwendung, die mit der Tonika auf betonter Taktzeit endet; ... die Tonika [wird] aus der Dominante [V-I] erreicht‘ Hirsch *Musiklexikon* Stichwort ‚Ganzschluß‘, S. 146.

⁵ Im originalen Wortlaut: ‚The amplitude of this N400 grows largely, although not wholly, as an inverse function of a word’s expectancy within its surrounding context‘ in: M. Kutas et al. ‚A preliminary comparison of the N400 response to semantic anomalies during reading, listening and signing‘ *The London Symposia EEG Suppl.* 39 1987, S. 325.

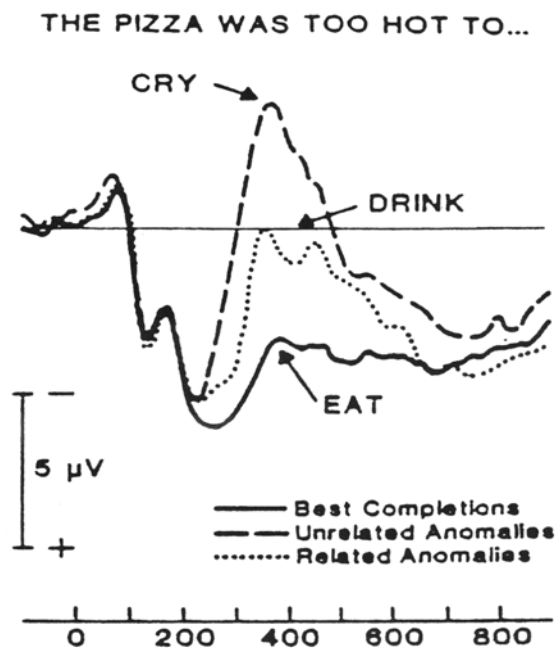


Abb.17. ERP-Komponenten auf semantisch korrekte und inkorrekte Wörter am Ende eines via Monitor eingeblendeten Satzes. Semantisch unzutreffende Finalwörter lösen eine N400-Komponente aus (Aufzeichnung von Cz; Besson, 1999, S. 248).

P. Janata hatte ‚harmonic expectancy‘ bzw. ‚expectancy violation‘ mit Hilfe der klassischen Vier-Akkord-Kadenzformel und einer Modifikation des oben dargestellten Paradigmas von Kutas und Hillyard untersucht (1995). Versuchsphase eins bestand in der Vorgabe der drei Hauptharmonien ‚Tonika‘, ‚Subdominante‘ und ‚Dominante‘, die den Effekt des ‚Priming‘¹ hatten. Versuchsphase zwei war ein Ruhemoment von einer Sekunde Dauer, der dem mentalen Vorstellen des Zielakkordes diente. In Versuchsabschnitt drei wurden der ‚Tonika‘-Akkord, die ‚Tonikaparallele‘ oder ein ‚dissonanter Klang‘ als Auflösungsmöglichkeit dargeboten (vgl. Abb.18), deren schließende, kadenzabrundende Wirkung von den Versuchsteilnehmern zu beurteilen war. Das Tonmaterial bestand aus synthetisch generierten Dreiklängen in der Klangfärbung ‚Klavier‘ (*dreistimmige Setzweise*), die den Versuchspersonen in drei verschiedenen Tonarten vorgespielt wurden.²

¹ (engl. ‚schärfen, vorbereiten‘) ‚Bezeichnung für Prozesse, in deren Verlauf ein System durch äußere oder innere Anlässe in erhöhte Funktionsbereitschaft versetzt wird ...‘ *dtv Wörterbuch zur Psychologie* Stichwort ‚Priming‘, S. 266.

² 23 musikalisch erfahrene Studenten nahmen am ERP-Experiment teil; chlorierte Silberelektroden wurden an 19 Meßpunkten der Kopfhaut gemäß dem vollständigen Positionierungsschema von H. H. Jasper plaziert.

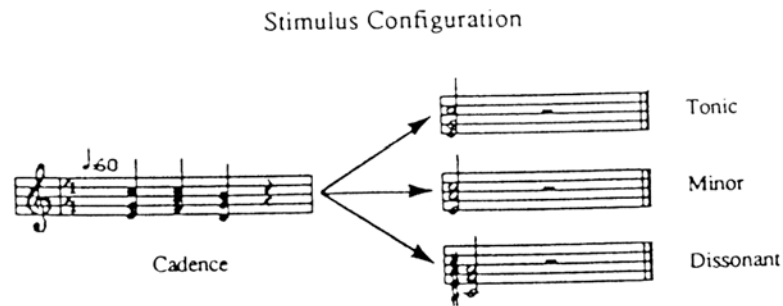


Abb.18. Kadenzmodell mit drei Auflösungsmöglichkeiten (T, Tp, Dissonanz) aus dem Beitrag von P. Janata (1995, S. 162).

Die Versuchsergebnisse:

P300-Reaktionen waren ausschließlich in Versuchsphase drei bei der Präsentation des Finalakkords zu beobachten (vgl. Abb.19). P3-Amplituden bildeten sich hierbei zu zwei verschiedenen Latenzzeiten aus, so daß in der Interpretation von Janata die von Squires et al. vorgeschlagene Unterteilung in P3a- und P3b-Subkomponenten herangezogen wurde (vgl. S. 25f). Sowohl P3a- als auch P3b-Komponenten wiesen die größten Amplitudenwerte bei dissonanten Kadenzschlüssen auf. *Minimale* peaks der Subkomponente P3a waren nach Darbietung der Tonika-parallele (Mollakkord) und für die Subkomponente P3b nach dem Tonika-Zielakkord zu beobachten. Kongruente sowie gänzlich inkongruente Kadenzschlüsse (Tonika bzw. Dissonanzen) wurden von Probanden *schnell* erkannt und klassifiziert; größere Latenzzeiten (mit Bezug auf die P3b-Komponente) traten hingegen bei der Identifikation des ambivalenten Tonikaparallel-(Moll-)Klanges auf.

Janata deutet diese Ergebnisse als ein Konglomerat - bestehend aus dem Vorgang des ‚context updating‘ (dazu S. 31f) und der subjektiv empfundenen Abgeschlossenheit der Kadenzgestalt.¹

¹ Er merkt hierzu an : „Hence, the present data seem to reflect a merger of the context-update and closure interpretations, with a large P3b evoked as a function of trial closure and smaller differences in the size and shape reflecting differential invocation of context-update processes.“ P. Janata „ERP measures ...“, S. 161.

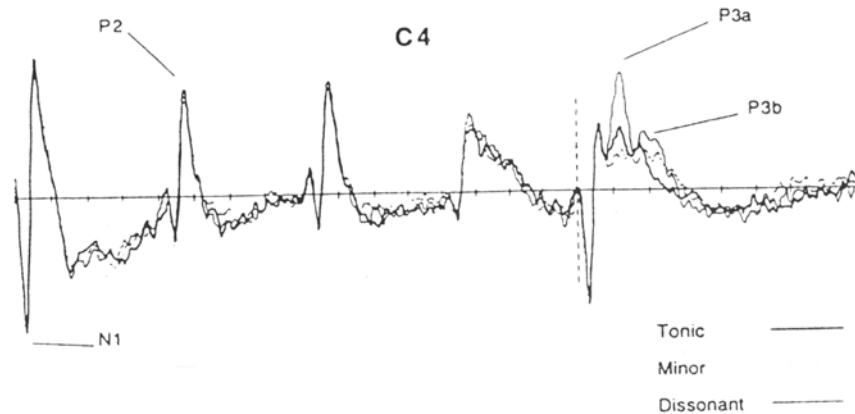


Abb.19. Potentialkurve (grand average) bezogen auf das Kadenz-Gesamt-Pattern (Dauer des Ablaufs: insgesamt 6 sec., Messung an C4). Schlußakkord-Varianten lösen eine P3-Welle (mit Subkomponenten) aus (Janata, 1995, S. 156).

Hantz und Mitarbeiter haben in Anknüpfung an Janatas Beitrag eine ERP-Studie vorgelegt, in der die Schlußwirkung von Finalakkorden bei Vorgabe eines *erweiterten* Kadenzmodells untersucht wurde. Nicht Erwartungshaltungen („harmonic expectancies“ bzw. „expectancy violations“) waren Gegenstand ihrer ERP-Experimente, vielmehr stand die Frage der „Abgeschlossenheit von Melodie- oder Akkordgebilden“ („phrase closure“¹) zur Diskussion. Das Tonmaterial bestand aus 120 unbekanntem tonalen Siebentonmelodien, harmonisiert in vierstimmiger Setzweise. Für Akkordfolgen wurden vier Arten von Kadenzschlüssen verwendet; sämtliche Sequenzen traten *mit gleicher Wahrscheinlichkeit* ($p = .25$) auf. Schlußarten waren: a) der authentische Schluß auf der Tonika - er bildete den Standardreiz - sowie davon abweichende Wendungen: b) die offene dur-moll-tonale Form (Phrasenendung auf der Dominante), c) die offene chromatische Form (Phrasenendung auf einem verminderten

¹ Hantz et al. „Neural responses to melodic and harmonic closure“, S. 69.

Septakkord) sowie d) eine ‚nicht-musikalische‘ Lösung (Weißes Rauschen, mit einem Rauschgenerator erstellt).¹

Einige Versuchsergebnisse:

Ganzschlüsse (harmonische Abgeschlossenheit, Endung: V-I) sowie offene Schlußformen (Dominante oder der verminderte Septakkord) hatten *späte* P300-Komponenten mit einer Gipfellatenz von etwa 500 msec an Elektrodenposition Pz zur Folge. Phrasenendungen mit Weißem Rauschen wirkten als ‚Überraschungseffekt‘ und gingen mit einer *früh* ausgeprägten hochamplitudigen Positivierung in centro-parietalen Rindengebieten einher (vgl. Abb.20).

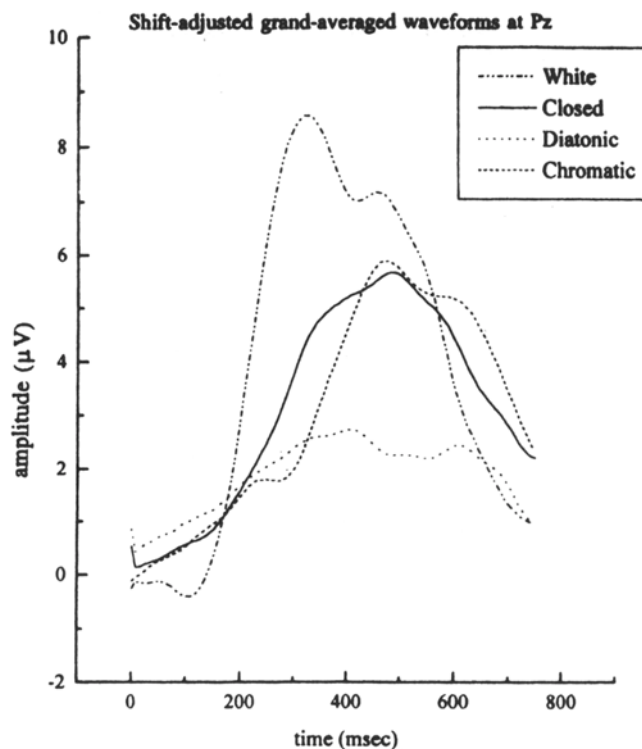


Abb.20. P300-Komponenten (mit Amplituden- und Latenzangaben) auf kadenzielle Schluß-Formen (Messung an Pz; Hantz et al., 1997, S. 84).

¹ Die Stichprobe setzte sich aus 16 Musikern und Musikstudenten zusammen; Elektroden wurden an den Meßpunkten Fz, Cz und Pz sowie links tempoparietal und rechts tempoparietal plaziert; für die Datenauswertung war das Verfahren der Hauptkomponentenanalyse anstelle von herkömmlichen varianzanalytischen Methoden in Gebrauch.

Auch im Beitrag von W. Paulus wurde die Kadenzform als Stimulusmodell verwendet.¹ Fünf aufeinanderbezogene Akkorde waren in der funktionsharmonischen Anordnung ,T - S -T - instabiler, dissonanter Vierklang - T⁴ in Gebrauch mit der Intention, einen möglichen elektrophysiologischen Indikator für die dissonante Hörempfindung (Dissonanzcharakter des vierten Zusammenklangs) ausfindig zu machen.² Gemessen wurden Amplituden- und Latenzwerte der exogenen N1-/P2-Wellen sowie der nachfolgenden Gleichspannungsverschiebung (sustained potential).³

Versuchsergebnis:

Entgegen der ursprünglichen Erwartung traten keine signifikanten Unterschiede in bezug auf Amplitudengröße und Latenzzeit der N1- und P2-Komponenten nach Wahrnehmung des dissonanten Akkordes und der konsonanten Mehrklänge auf (dazu Abb.21). Das Vorhandensein eines bioelektrischen Indikators - spezifisch für musikalische Dissonanzempfindung - konnte von Paulus nicht nachgewiesen werden.

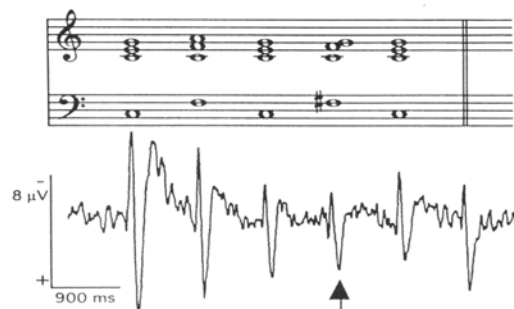


Abb.21. Kadenzfolge mit eingefügtem Dissonanzklang; das grand-average-AEP bezieht sich auf die Gesamtdauer der Akkordpräsentation; ein bioelektrischer Indikator für eine gesonderte Dissonanzverarbeitung konnte nicht nachgewiesen werden (siehe Pfeil; Messung an Fz; Paulus, 1992, S. 154).

¹ W. Paulus „Event-Related Potentials evoked by music lack a dissonance correlate“ *Psychomusicology* 11, 1992, S. 152-156; andere musikbezogene ERP-Studien von W. Paulus sind auf S.82ff dieser Arbeit ausführlicher dargestellt.

² Näheres zum musiktheoretischen Begriff der ‚Dissonanz‘ und der entsprechenden Hörwahrnehmung ist in Übersichtsarbeiten zum Thema ‚Konsonanztheorien‘ nachzulesen (z.B. Bruhn/Oerter/Rösing *Musikpsychologie* S. 100ff).

³ Fünf Probanden mit instrumentalen Vorkenntnissen wurde identisches Akkordmaterial an jeweils drei Untersuchungstagen vorgespielt (Dauer eines jeden Mehrklangs: 900 msec, Beschaffenheit der Tonelemente: Rechtecktöne, Intensität jeweils 50 dB). Meßpunkte für elektrophysiologische Reaktionen waren die Elektrodenorte Fz und Pz sowie T3 und T4 rechts- bzw. linkstemporal.

2.5. Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung von Tonpattern (I) und inkongruenten Melodieschlüssen (II)

(I) Es werden zunächst vier Forschungsarbeiten vorgestellt, in denen die Perzeption und Apperzeption von Tonfolgen und Melodiepattern mit Hilfe von Permutations- oder Vergleichsaufgaben untersucht wurde. Wechselspannungs- bzw. Gleichspannungspotentiale (ERPs, DC-Potentiale) wurden simultan dazu registriert.

D. Cohen und *A. Erez* hatten in ihrem Beitrag von 1991 Fünffonfolgen als Reizmaterial verwendet.¹ Die Sequenzen wurden paarweise dargeboten und waren von Probanden in Hinblick auf Permutationen (Umstellungen benachbarter Töne) als gleich oder verschieden zu beurteilen.² In einzelnen Subtests wurden a) der musikalische Parameter ‚Tempo‘, b) die Sinnesmodalität während der Reizpräsentation sowie c) die Anzahl der Patternwiederholungen variiert:

a) Die langsame Darbietungs-Variante setzte sich aus synthetischen Dreieckstönen von 100 msec Tondauer bei einem Interstimulusabstand von jeweils 650 msec zusammen, die schnelle Version enthielt kontinuierlich aufeinanderfolgende Reize von 75 msec-Dauer. b) Die Darbietungsweise wurde derart modifiziert, daß einem Standard-Fünffonmuster der akustischen Art ein Vergleichspattern der akustischen oder der visuellen Form bzw. vice versa einer optisch dargebotenen Standard-Sequenz (Noten) eine akustische Tonvorlage folgte.

Das Versuchskonzept sah außerdem vor, daß c) dem ‚reference pattern‘ in einer ersten Testphase ausschließlich *ein* Vergleichsmuster gegenübergestellt wurde, während die Versuchspersonen in Testabschnitt zwei insgesamt *fünf* geringfügig voneinander abweichende Sequenzen (ein ‚reference pattern‘ und vier Vergleichsmuster) in Hinblick auf Permutationen zu beurteilen hatten.³

¹ D. Cohen/A. Erez „Event-related-potential measurements of cognitive components in response to pitch patterns“ *Music Perception* 8, 1991, S. 405-430.

² Verändert wurde ausschließlich die Kenngröße ‚Tonhöhe‘; die Tonparameter ‚Lautstärke‘, ‚Klangfarbe‘ sowie ‚Tondauer‘ blieben konstant.

³ Am Versuch nahmen 13 Studenten teil. Sechs von ihnen beherrschten das Notenlesen, sie partizipierten an sämtlichen Subtests der Untersuchung. Hirnelektrische Reaktionen wurden von der antero-posterioren Mittellinie des Kopfes (Fz, Cz und Pz) aufgezeichnet.

Einige Versuchsergebnisse:

1. Das Vertauschen von Ton 4 und Ton 5, dem Finalton des jeweiligen Vergleichsmusters, sowie eine Ambitusvergrößerung bzw. -verkleinerung gegenüber dem Bezugspattern an diesen Tonorten (r5 →kl 6; kl6→r5) wurden bei Schnellpräsentation der Tonpattern durch eine großamplitudige P3-Komponente an Position Pz indiziert (vgl. Abb.22 und 23).



Abb.22. Original-Tonfolge (links) und Vergleichsmuster (rechts), vier Beispiele (Cohen & Erez, 1991, S. 409).

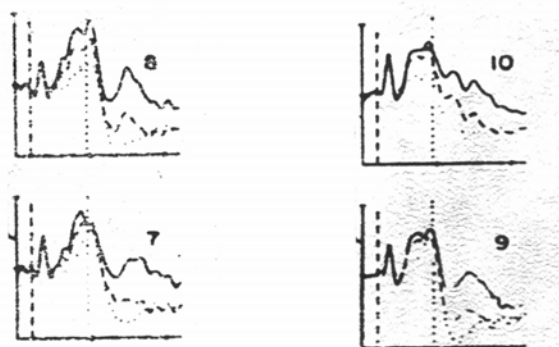


Abb.23. ERP-Kurven (grand averages), Tonvorlage vgl. Abb. 22 (gesamtes Vergleichs-Pattern). P3-Reaktionen an Pz sind deutlich ausgeprägt (durchgezogene Linie: Fz, gestrichelte Linie: Cz, gepunktete Linie: Pz; Cohen & Erez, 1991, S. 415).

2. Der Modalitätswechsel vom visuellen Bezugs- zum akustischen Vergleichspattern hat bei schnellem Darbietungstempo eine hochamplitudige N1-Komponente zu Beginn des Klangmusters zur Folge (vgl. Abb.24).

3. Die Gegenüberstellung von ERP-Reaktionen und verbalen Äußerungen ergab eine Diskrepanz zwischen hirnelektrischen Antworten und dem bewußten Gewährwerden von Wahrnehmungseindrücken. So hatten Versuchspersonen ein (akustisches) Bezugs- und ein davon abweichendes (akustisches) Vergleichspattern als identische Hörimpression *beurteilt*, zuvor jedoch deutliche und voneinander abweichende elektrophysiologische Reaktionen gezeigt. Die Unstimmigkeit zwischen dem verbalen und elektrophysiologischen Probandenverhalten wurde von Cohen und Erez auf drei Faktoren zurückgeführt: a) auf das schnelle Präsentationstempo des Tonmaterials, b) auf gleiche Finaltöne sowie c) auf ähnliche melodische Konturen.

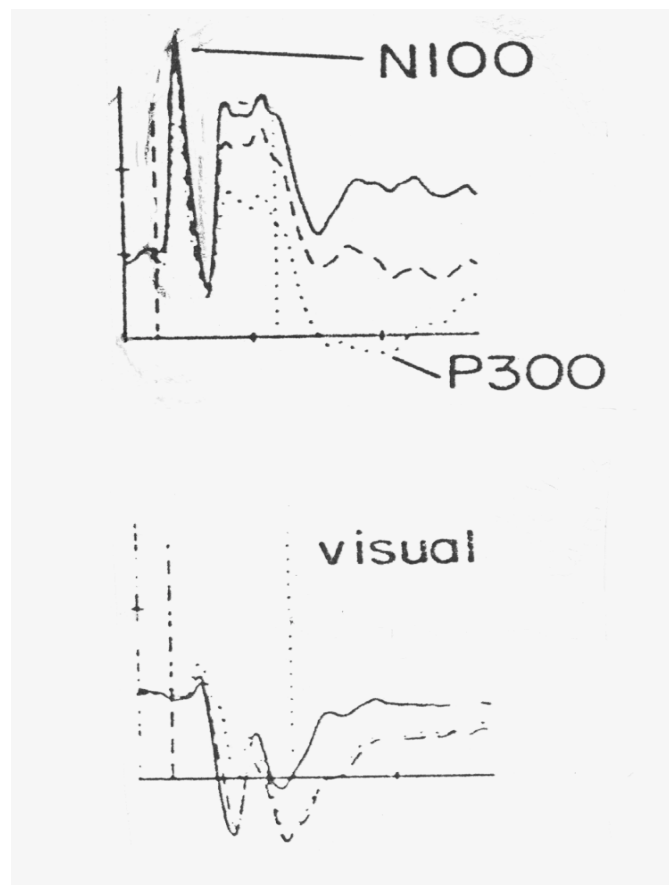


Abb.24. Gegenüberstellung von Potentialverläufen. Stimuli: *sämtliche* visuell präsentierte Original-Tonfolgen mit ihren akustisch dargebotenen Vergleichsmustern (hochamplitudige N1-Komponente, notenkundige Probanden; durchgezogene Linie: Fz, gestrichelte Linie: Cz, gepunktete Linie: Pz, Cohen & Erez, 1991, S. 414).

Tervaniemi et al. haben in einem MMN-Experiment die Fähigkeit von Musikern und musikalisch unausgebildeten Versuchspersonen nachgewiesen, Permutationen von Tönen ohne das ‚Einschalten‘ der Aufmerksamkeit in der Hörrinde verarbeiten bzw. akustische Information bereits auf vorbewußter Ebene zeitlich strukturieren zu können.^{1,2} Das Tonmaterial der Permutationsaufgabe („order-change-condition“³) bestand aus einem kontinuierlich repetierten Viertonmuster (e‘-f‘-g‘-a‘-e‘-f‘-g‘-a‘ ...), das mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0.1$ variierte Pattern mit Umstellungen zwischen dem zweiten und dem dritten Ton enthielt (e‘-g‘-f‘-a‘).⁴ Für ihre Tonhöhendiskriminations-Aufgabe wurde eine Folge von C-Dur-Dreiklängen als Reizmaterial gewählt, in die mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0.1$ c-Moll-Dreiklänge eingestreut waren.

Ein bewußtes Durchhören der Reizmuster war in beiden Höraufgaben nicht erforderlich („ignore condition“); in einer dritten Höraufgabe („discriminate order-change condition“, Tonmaterial wie in Test 1) hatten Probanden ihre Aufmerksamkeit jedoch auf das oben dargestellte Viertonmuster zu richten. Vorhandene Komponentenreaktionen wurden von *Tervaniemi et al.* aus sog. ‚Differenzwellen‘ abgelesen, welche durch Subtraktion der Potentialkurven nach Präsentation des Standardpatterns von denjenigen nach Präsentation des abweichenden Tonmusters gebildet worden waren.

Versuchsergebnisse:

1. Signifikante MMN-Amplituden waren in frontalen Hirnregionen als Reaktion auf deviante Reize (Tonumstellungen und Mollterz) zu beobachten.
2. Musiker zeigten in der Permutationsaufgabe erheblich höhere Amplitudenwerte als Nicht-Musiker.
3. Vorbewußte Verarbeitung (Enkodierung) der Mollterz hatte im Tonhöhendiskriminationstest keine *gruppenspezifischen* MMN-Amplitudenunterschiede zur Folge.
4. Permutation („order change“) bei *gerichteter Aufmerksamkeit* der Probanden löste nicht nur

¹ M. Tervaniemi et al. „The musical brain: brain waves reveal the neurophysiological basis of musicality in human subjects“ *Neuroscience Letters* 226, 1997, S. 1-4.

² Jeweils 14 Musiker und Nicht-Musiker nahmen am MMN-Versuch teil; hirnelektrische Aktivität wurde von drei Elektroden entlang der Mittellinie (Fz, Cz, Pz) und von sechs Elektroden entlang der schräg-koronalen Linie zwischen Fz sowie dem linken und rechten Mastoidpunkt aufgezeichnet.

³ M. Tervaniemi et al. a.a. O. S. 2.

⁴ Jeder der im Versuch verwendeten Synthesizer-Klänge bestand aus drei Teiltönen von gleicher Intensität, die ganzzahlige Vielfache (1:2:3) des Grundtons waren.

eine MMN- und N2b-Komponente, sondern auch eine P3-Welle aus;

Amplitudenunterschiede zwischen Musikern und Nicht-Musikern bezogen sich hierbei nur auf die MMN-Komponente (vgl. Abb.25).

M. Tervaniemi et al. kommen zu folgendem Ergebnis:

... musical subjects have more accurate neural representations for temporal stimulus information than the non-musical subjects, even in ignore condition, whereas no such difference in neural mechanisms could be observed when the change in stimulation included a new pitch [sowie] ... even in ignore condition the musical subjects' central auditory system responds more vigorously to temporal-order reversals in repetitive sound patterns than that of the non-musical subjects.¹

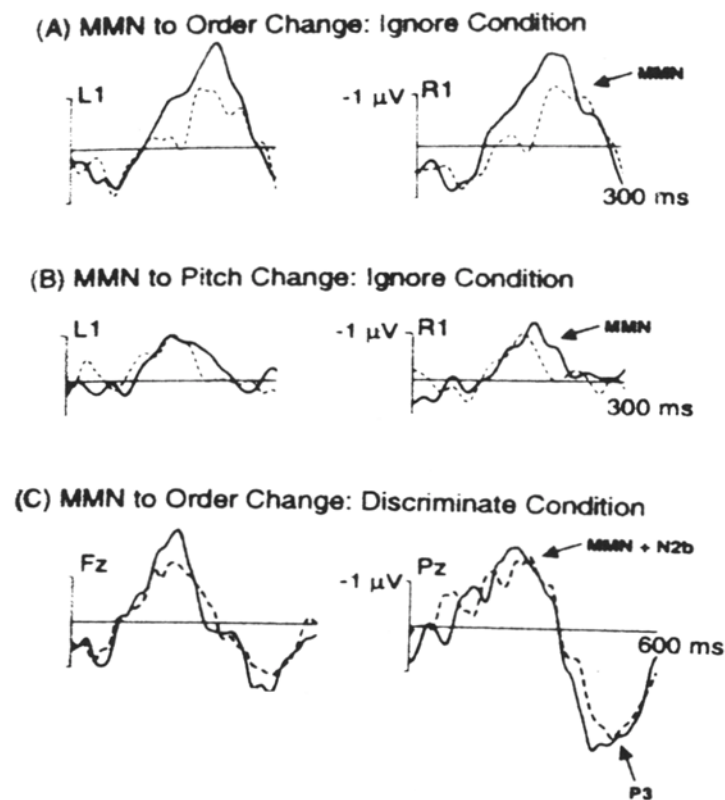


Abb. 25. MMN-Komponenten von musikalisch vorgebildeten und musikalisch unkundigen Probanden in Situationen der Ablenkung (A, B) bzw. der Aufmerksamkeitszuwendung (C). Ton-Permutationsaufgabe („order change condition“, A, C) bzw. Austausch von Dreiklangsterzen („pitch change condition“, B). Darstellung von Differenzwellen, Einzelheiten s. Text; Tervaniemi et al., 1997, S. 3).

¹ M. Tervaniemi „The musical brain ...“, S. 3 und 4.

Gegenstand der DC-Potentialstudie von R. Verleger und D. Schellberg (1991) war die Untersuchung der apperzeptiven Fähigkeit, bekannte Melodien erkennen bzw. wiedererkennen zu können. Zwei Hypothesen wurden aufgestellt und in zwei Experimenten geprüft.¹

Hypothese 1 lautet:

Negative Potentialverschiebungen sind Ausdruck der *Vertrautheit (acquaintance)* mit dem Liedmaterial. Große Amplitudenwerte geben eine starke Aktivierung der im Langzeitgedächtnis gespeicherten Melodierepräsentationen wieder.

Hypothese 2 lautet:

DC-Potentiale indizieren den Kraftaufwand (*Anstrengung, effort*), der für das Identifizieren des Melodiematerials notwendig ist. Die Amplitude des DC-Potentials und der Grad der Anstrengung verhalten sich zueinander proportional. Kraftaufwand ist für das Modellieren bzw. Rekonstruieren von schwachen Gedächtnisrepräsentationen erforderlich, mit denen der aktuelle akustische Input zu vergleichen war.² Beide Hypothesen wurden anhand von Liedanfängen von 30 bekannten deutschen Kinderliedern getestet, die a) als Originalversion und b) im Rhythmus und Tempo von jeweils anderen Volksliedern präsentiert wurden.³

Würde die ‚Vertrautheits‘-Hypothese zutreffen, so hätten Kinderlieder in Originalfassung große DC-Amplitudenwerte zur Folge; wäre hingegen die ‚effort‘-Hypothese gültig, sollten für dieselben bekannten Incipits nur geringe DC-Amplitudenwerte vorhanden sein.

V Versuchsergebnis, Experiment 1:

Kurvenverläufe von DC-Potentialen für Originalmelodien und für rhythmische Varianten waren an Elektrodenposition Fz nahezu identisch. Weder die Vertrautheits- noch die effort-Hypothese konnte bestätigt werden.

¹ R. Verleger/D. Schellberg „Slow potentials in a melody recognition task“ *Arch. Psychol.* 142, 1991, S. 225-244.

² ebd., S. 227.

³ NB: Wichtige Beiträge zur ‚Melodie-Erkennung‘ sind auch im Bereich der ‚kognitiven Musikpsychologie‘ entstanden. Sie basieren sämtlich auf der Veränderung/Verzerrung/Nivellierung (allg. ‚distortion‘) der melodiebildenden Faktoren ‚Kontur‘, ‚Rhythmus‘, ‚Tonhöhe‘ oder ‚Tonart‘. Folgende US-amerikanische Musik- und Kognitionspsychologen haben Experimente zur ‚identification of distorted melodies‘ durchgeführt: D. Deutsch, W.J. Dowling, W.J. House und B. W. White sowie A. Mauerhofer (Graz).

Mit einem zweiten Experiment wurde daher der mögliche exogene Charakter der DC-Potentiale überprüft.¹ Die Incipits aus Test 1 wurden beibehalten, die ‚Intensität‘ und ‚Tondauer‘ eines jeden Melodietons jedoch variiert.² Außerdem wurde der Ambitus einer Melodie dergestalt reduziert, daß die Tonhöhe von der vierten Note des Liedes an einen konstanten Frequenzwert aufwies.

Versuchsergebnisse, Experiment 2:

Veränderungen der Parameter ‚Intensität‘ und ‚Tondauer‘ hatten auf die Amplitudengröße der DC-Potentiale keinen Einfluß. Die Reduktion der ‚Tonhöhe‘ auf ein konstant-monotones Niveau (unter Beibehaltung des Rhythmus-Patterns) ging hingegen mit einem Gesamtanstieg des DC-Spannungsverlaufs einher (vgl. Abb.26).

Die ‚negative shift‘-Reaktion auf den repetierten Ton ist als Indikator für erschwerte Melodieerkennung zu deuten. Der Sachverhalt verifiziert somit die von Verleger und Schellberg aufgestellte ‚effort‘-Hypothese.

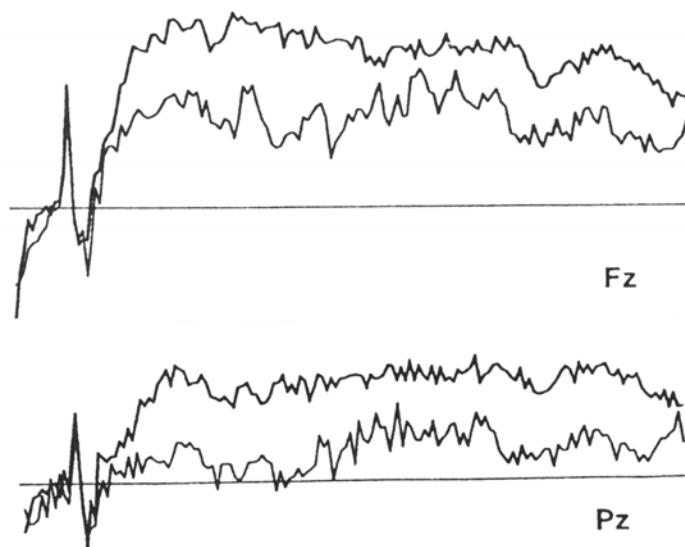


Abb.26. Reduktion der Kontur bzw. des Ambitus einer Melodie bei konstantgehaltenem Rhythmus führt zu erschwerter Melodieerkennung und hat einen Gesamtanstieg des Potentialverlaufs (negative-shift-Effekt) zur Folge (Elektrodenposition Fz und Pz; Verleger & Schellberg, 1991, S. 240).

¹ in Analogie zur exogenen reizkorrelierten Gleichspannungsantwort (RGA, ‚auditory sustained potential‘), das von Keidel et al. sowie von Picton et al. beschrieben wurde (vgl. S. 37f).

² Jeder Ton der Melodie wurde mit einer Intensität von 60 dB SPL(A) bzw. 45 dB SPL(A) sowie im ‚staccato‘ - Modus bzw. mit ‚normaler‘ Tondauer (Verleger/Schellberg, S. 237ff) dargeboten.

Die von *E. Altenmüller* im Jahr 1986 erstellte DC-Potentialstudie ist bereits im Zusammenhang mit Experimenten zur Akkordunterscheidung beschrieben worden (S. 51ff). Da als Tonmaterial auch melodische Sequenzen verwendet wurden, sollen die entsprechenden Abschnitte der Untersuchung in diesem Zusammenhang kurz dargestellt werden. Altenmüllers melodischer Test war eine Tonhöhenvergleichsaufgabe, bei der die Anfangs- und Finaltöne einer acht- bis 16-tönigen Folge in Hinblick auf Gleichheit zu beurteilen waren (vgl. Abb.27)¹.



Abb.27. Notenbeispiel für den Vergleich von Anfangston und Finalton eines Patterns (Altenmüller, 1986, S. 348).

V Versuchsergebnisse:

57% (resp. 38%) der Probanden hatten bei der Tonhöhenunterscheidungs-Aufgabe die rechte (bzw. linke) Hirnhälfte aktiviert. 5% der Versuchsteilnehmer zeigten Reaktionen, an denen Hirnareale beidseitig in ausgewogener Weise beteiligt waren. Das Ergebnis ließ sich unter Berücksichtigung des Faktors ‚musikalische Vorbildung‘ eindeutig interpretieren: Eine Rechtslateralisation war vornehmlich bei Musikamateuren und Probanden ohne musikalische Vorkenntnisse vorhanden, eine Linkslateralisation meistens bei Berufsmusikern zu beobachten (vgl. Abb.28).

¹ Das Stimulusmaterial bestand hier wie auch im Akkordtest aus synthetisch generierten Rechtecktönen.

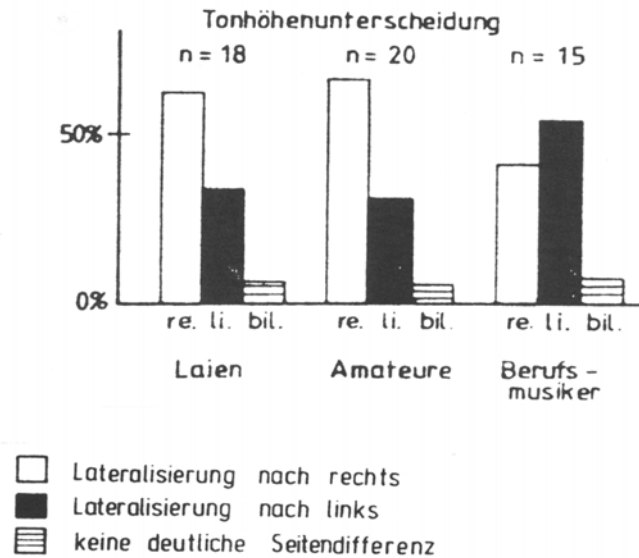


Abb.28. Ergebnis zur Links-Rechts-Lateralisierung von DC-Potentialen bei musikalischen Laien, Amateuren und Berufsmusikern, welche Anfangs- und Finaltonhöhe einer Tonfolge miteinander vergleichen sollten (Altenmüller, 1986, S. 350).

(II) Das von M. Kutas und S.A. Hillyard entwickelte Versuchsdesign, anhand dessen erstmals ein Zusammenhang zwischen *semantisch* unzutreffenden Finalwörtern eines Satzes und der sog. N400-Komponente in Sprach-/ERP-Untersuchungen aufgezeigt werden konnte,¹ hatte die Neurowissenschaftlerinnen *M. Besson* und *F. Macar* angeregt, eine ebensolche N400-Reaktion auf finale Abweichungen auch bei Verwendung eines außer-lexikalischen Zeichenvorrats zu vermuten.² Vier Versuchsreihen mit visuellem und akustischem Material wurden hierzu durchgeführt; Reizfolgen bestanden aus zumeist sieben Items (Dauer: jeweils 700 msec). 75% der Durchgänge endeten auf logisch-stimmige Weise, 25% der Trials enthielten deviante Finalreize „nach oddball-Art“. Stimuli waren Sieben-Wort-Sätze, geometrische Muster, bekannte Liedanfänge sowie auf- oder abwärtsführende Siebenton-Skalenausschnitte (d.h.

¹ dazu auch S. 31f und S. 53, diese Arbeit.

² Bessons erste und zugleich grundlegende Studie zu diesem Themenbereich nennt sich: „An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts“ *Psychophysiology* 24, 1987, S. 14-25.

unvollständig dargebotene Dur-, Moll- oder chromatische Tonleitern (vgl. Abb.29).¹

(Beispiele derartiger Pattern-Schlüsse waren: große geometrische Formen in einer Reihe von gestaltgleichen, jedoch im Umfang abnehmenden Mustern; ein dissonanter Ton am Ende eines Incipits oder ein abwärts gerichteter Intervallsprung innerhalb einer kontinuierlich aufwärts-führenden Skala).

4 XXX XXX *incongruous* *congruous*

3 XXX *congruous* XXX *incongruous*

2 XXX * * * * * * *
XXX * * * * * *

1 XXX tous les matins il lit le journal la
XXX il porte sa fille dans ses narines lb

WS 1 2 3 4 5 6 7 ITI
500 1500 700 300 700 300 700 300 7000

Abb.29. Beispiele für Sätze (1), geometrische Muster (2), Tonleitern (3) und bekannte Melodien (4), die im ‚semantic incongruity Versuch‘ von Besson und Macar verwendet wurden (WS = warning signal, ITI = intertrial interval, 700 msec = Dauer eines Einzel-Stimulus; Besson & Macar, 1987, S. 16).

¹ 14 aufmerksam zuhörende, nicht-musikalisch vorgebildete Probanden nahmen an jeweils zwei experimentellen Sitzungen teil; hirnelektrische Aktivität wurde von den antero-posterioren Meßpunkten Fz, Cz und Pz sowie von Elektrodenplazierungen über dem Wernicke-Areal und seiner rechtshemisphärischen Entsprechung aufgezeichnet.

Versuchsergebnisse:

1. Wörter am Ende eines Satzes, deren Bedeutung sich jeweils im ‚Einklang‘ mit dem Textkontext befand, haben eine P300-Welle von großem Amplitudenwert ausgelöst. Finalwörter mit paradoxer Wortbedeutung hingegen wurden durch eine N400-Komponente im Latenz-bereich zwischen 310 msec und 420 msec repräsentiert (vgl. Abb.30).

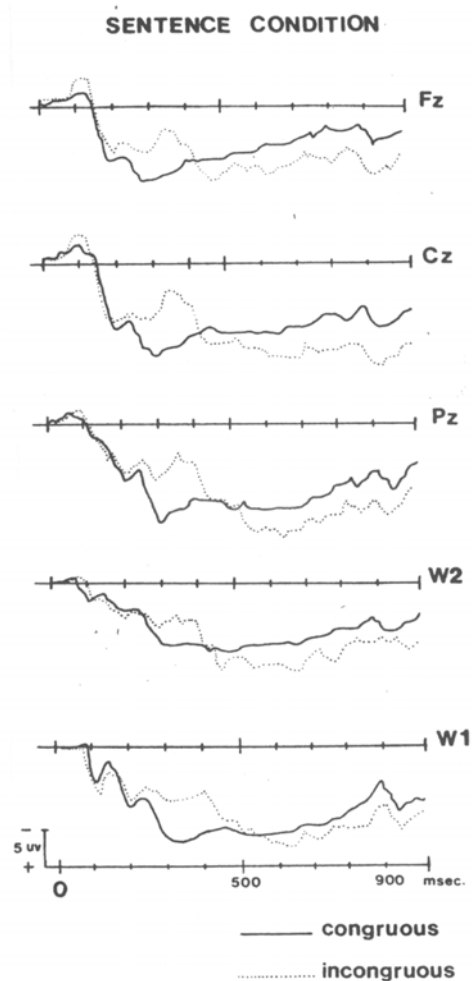


Abb.30. Grand average ERPs (n = 14 Vpn) bezogen auf ein semantisch korrektes resp.paradox anmutendes Finalwort eines Satzes (durchgezogene bzw. gepunktete Linie; Elektrodenplatzierung an Fz, Cz, Pz, über dem Wernicke Areal (W1) und seiner rechtshemisphärischen Entsprechung (W2); Besson & Macar, 1987, S. 18).

2. Sämtliche inkongruenten Finalreize, die den Endpunkt von außer-sprachlichen Stimulustypen bildeten, hatten keine N400-Komponente, sondern eine signifikante P300-Reaktion zur Folge.

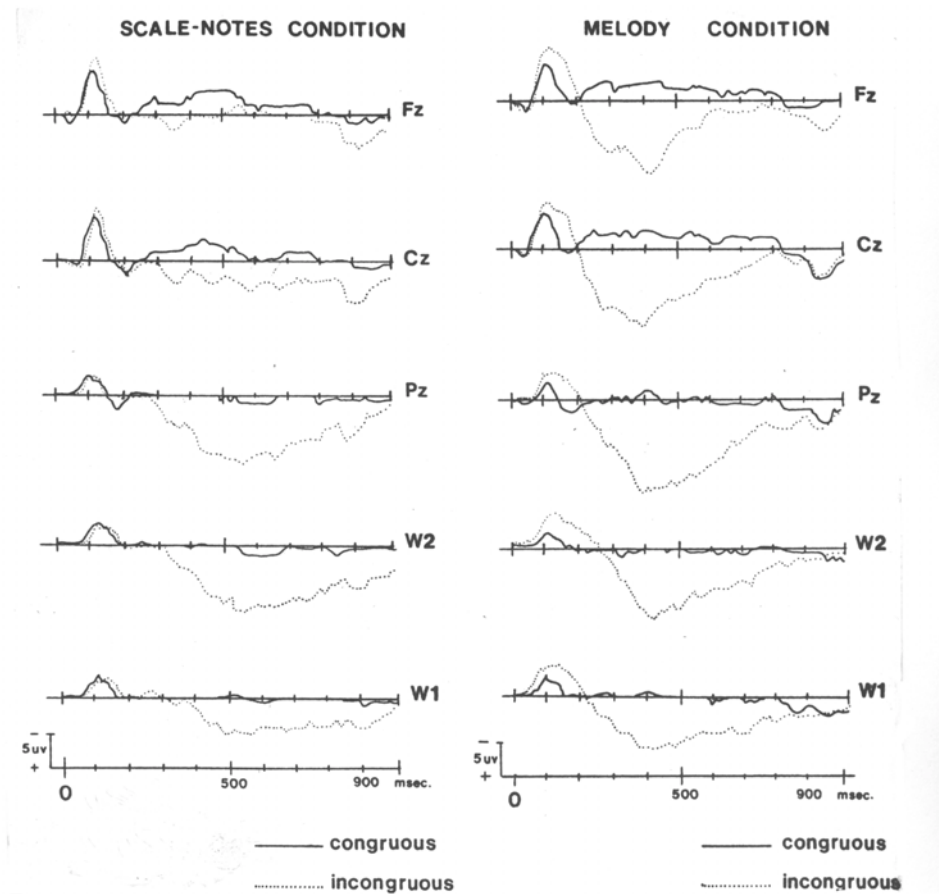


Abb.31. Grand average ERPs (n = 14 Vpn) für einen korrekten bzw. inkongruenten Ton einer Tonleiter (linke graphische Darstellung) oder einer Melodie (rechte graphische Darstellung; durchgezogene bzw. gepunktete Linie) (Besson & Macar, 1987, S. 20).

Die Ergebnisse stimmen mit den zuvor von Kutas und Hillyard gewonnenen Resultaten überein: Eine N400-Komponente ist ausschließlich im Bereich der Sprachverarbeitung zu finden. Sie steht mit Vorgängen des semantischen Priming¹ in Zusammenhang und weist auf die Wahrnehmung von abweichenden Wortbedeutungen, d.h. auf „violations of semantic expectancy“² hin. Im Unterschied dazu gibt die P300-Komponente eine allgemeine „Überraschungshaltung“ von Probanden wieder, welche sich auf abweichende Stimuli in einem *außer-sprachlichen* Kontext bezieht.

¹ Erklärung des Begriffs: Fußnote 1 S. 54.

² M Besson „The musical brain: neural substrates of music perception“ *JNMR* 28, 1999, S. 248.

Um P3-Reaktionen¹ auf inkongruente Finaltöne von Incipits und anderen musikalischen Phrasen genauer spezifizieren zu können, haben *M. Besson und Mitarbeiter* eine Zusatzuntersuchung durchgeführt (Beitrag von 1994).² Folgende Größen wurden variiert:

1. die Zusammensetzung der Versuchsgruppen unter Berücksichtigung des Faktors „musikalische Vorbildung“³, 2. der Vertrautheitsgrad des Tonmaterials sowie 3. die Beschaffenheit der inkongruenten musikalischen Endung an sich.

Präsentiert wurden dissonante Finaltöne, die sich a) außerhalb der gewählten Tonart befanden (von Besson et al. als „harmonische Abweichungen“ bezeichnet), b) melodische Varianten, die weniger gebräuchliche Lösungen innerhalb eines tonalen Bezugsrahmens darstellten und c) „Abweichungen der rhythmischen Art“, die eine zusätzlich eingefügte Pause von 600 msec vor der Schlußnote enthielten.

Versuchsergebnisse:

1. Bei musikalisch vorgebildeten Probanden waren gegenüber musikalisch unerfahrenen Versuchspersonen P3-Komponenten von generell größerem Amplitudenwert und einer um 100 msec verkürzten Latenz zu beobachten (Musiker: 3,34 μ V (aM), Nicht-Musiker: 1,08 μ V (aM)). Ein analoges Komponentenverhalten trat bei dissonanten (atonalen) Phrasenendungen im Vergleich zu melodisch weniger gebräuchlichen Finaltönen (Abb.32b) sowie für das vertraute im Vergleich zu dem unbekanntem Melodiematerial auf (Abb.32a).

¹ Für den Ausdruck „P300-Komponente“ ist in diesem Beitrag der auf einen größeren Latenzbereich bezogene sinnverwandte Begriff „LPC“ (late positive component) zu finden.

² M. Besson et al. „Brain waves associated with musical incongruities differ for musicians and non-musicians“ *Neuroscience Letters* 168, 1994, S. 101-105.

³ 15 Probanden ohne musikalische Vorkenntnisse und 15 Probanden mit mehrjähriger Instrumental- und Gesangsausbildung nahmen an der Untersuchung teil. Sie hatten die Aufgabe, a) den Finalton der Klangbeispiele als kongruent bzw. inkongruent zu klassifizieren, b) die Art der wahrgenommenen Abweichung zu bestimmen sowie c) den subjektiven Bekanntheitsgrad des Tonmaterials per Knopfdruck aufzuzeigen. Bioelektrische Aktivität wurde an folgenden Meßpunkten registriert: Fz, Cz und Pz sowie an zwei Elektrodenpositionierungen im Temporallappenbereich.

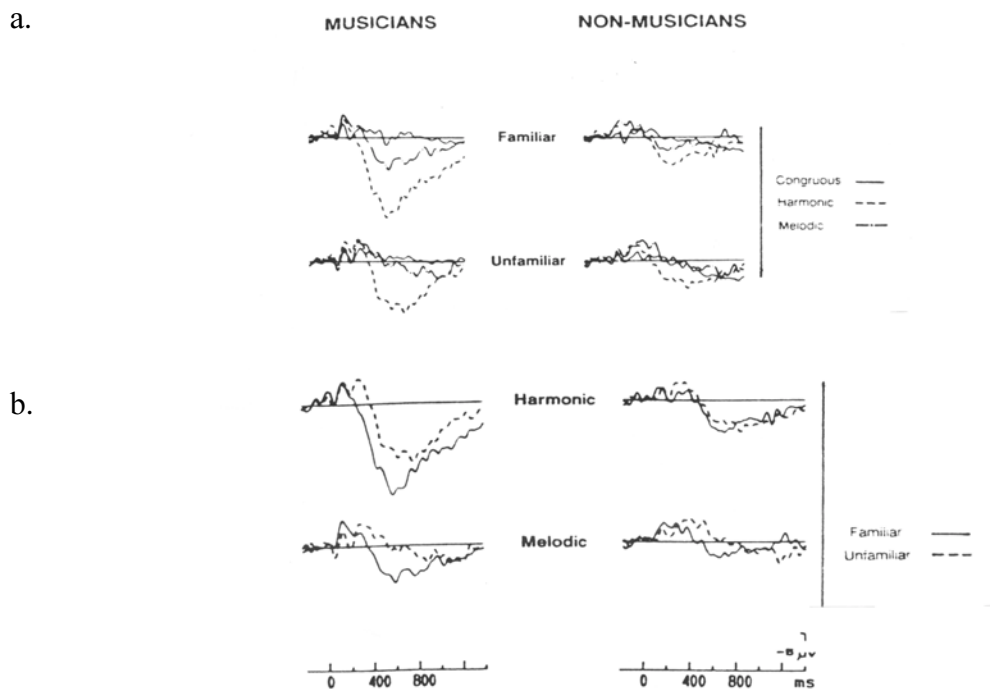


Abb.32a. ERP-Reaktionen auf kongruente, ungebrauchliche oder dissonante Finaltöne von Melodien, separat dargestellt für musikalisch vorgebildete und unkundige Vpn sowie unterteilt nach dem Grad der Melodie-Vertrautheit (durchgezogene, durch Punkte unterbrochene oder gestrichelte Linie).

Abb.32b. ERP-Reaktionen auf Finaltöne von bekannten und unbekannt Melodien (durchgezogene bzw. gestrichelte Linie). 1. dissonante („harmonically incongruous“), 2. melodisch ungebrauchliche Schlüsse. (Messungen jeweils an Pz, Negativität ist nach oben abgetragen; Besson et al., 1994, S. 103).

Für die kurze eingeschobene Ruhephase von 600 msec Dauer (rhythmische Variante) war ein bioelektrischer ‚Sonderfall‘ zu beobachten. Er ist unter dem Namen ‚emitted potential‘ bekannt.¹ Das ‚emitted potential‘ bestand aus einer biphasischen Negativ-Positiv-Komponente und wird allgemein durch Reizauslassungen (sog. ‚omitted stimuli‘) evoziert. Bekannte Liedanfänge hatten einen größeren N-P-Komplex als unbekannt Melodien zur Folge, die Amplitudengröße des ‚emitted potential‘ ist somit vom Grad der Melodie-Vertrautheit abhängig (vgl. Abb.23). *Gruppenspezifische* Unterschiede zwischen Nicht-Musikern und Instrumentalisten in bezug auf diese Potentialform waren statistisch nicht signifikant.

¹ dazu auch S. 28f.

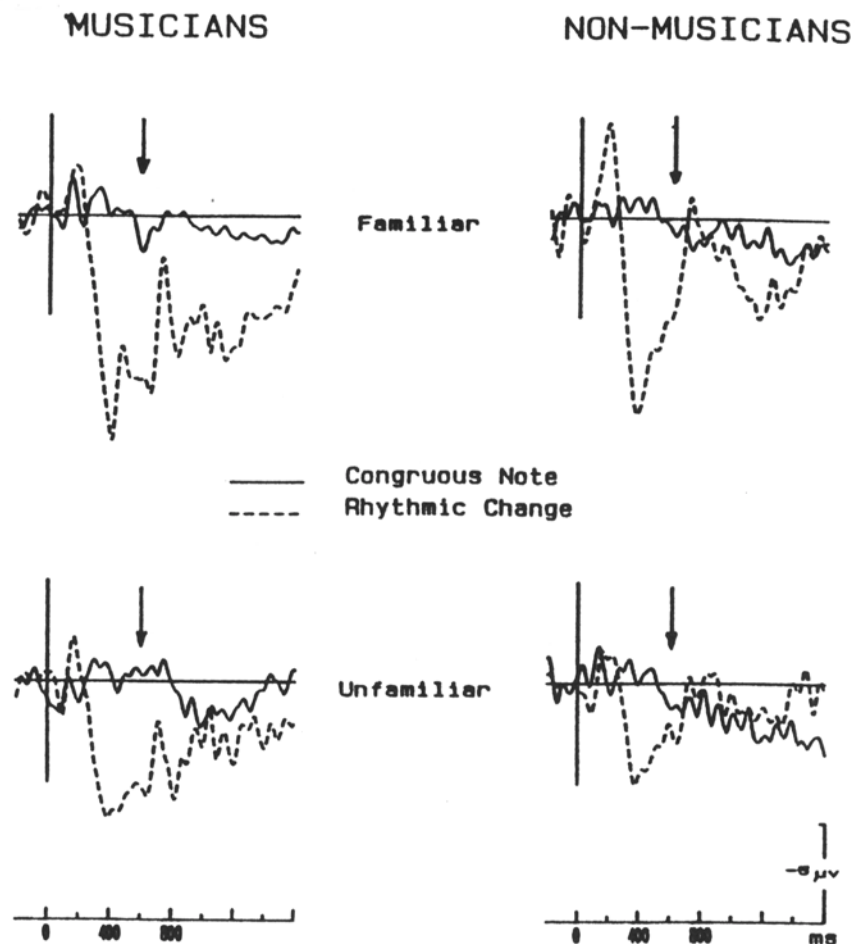


Abb.33. ERP-Reaktionen (mit „emitted potentials“) auf Finaltöne einer Melodie, die mit einer zeitlichen Verzögerung von 600 msec (gestrichelte Linie, Zeitpunkt des Toneinsatzes s. Pfeil) dargeboten wurden. Gliederung der hirnelektrischen Antworten nach der Variablen „Melodievertrautheit“ (Aufzeichnung von Pz, Besson, 1999, S. 250).

M. Besson et al. ziehen folgendes Fazit: P3-Komponenten sind ein sensibles Maß zum Testen von musikalischen Erwartungshaltungen. Starke Erwartungshaltungen bauen sich bei musikalisch erfahrenen Probanden sowie bei größerer Vertrautheit mit dem Tonmaterial auf. Verletzungen von musikalischen Erwartungen haben große P3-Amplitudenwerte und

Verkürzungen der Latenzzeit zur Folge.¹

F. Faita und M. Besson sind in einer ergänzenden Studie der Frage nachgegangen, ob die Amplitudengröße der P300 nach inkongruenten Finaltönen auch durch den Faktor ‚Stimulus-Wiederholung‘ beeinflusst werden könne.²

Zwei Hypothesen wurden aufgestellt.

Hypothese 1 lautet: Mehrmalige Wiederholung von *bekannt* Incipits hat eine *Reduktion* der P3-Amplitude bezogen auf den abweichenden Finalton zur Folge.

Hypothese 2 heißt: *Unbekannte* und mehrmals wiederholte Liedanfänge lösen aufgrund des Lernvorganges eine Änderung des ‚Vertrautheitsstatus‘ aus. Abweichende Phrasenendungen gehen deshalb mit einer *Zunahme* des P3-Amplitudenwertes einher.³ Das Tonmaterial setzte sich aus 72 bekannten und 72 unbekannt melodischen Gestalten zusammen, die zur einen Hälfte ‚schlüssige‘, abgerundete Phrasenendungen und zur anderen Hälfte atonale Finaltöne enthielten. Jeder thematische Einfall wurde insgesamt fünfmal vorgespielt.⁴

V Versuchsergebnisse:

1. Abbildung 34 macht Interaktionen zwischen den Faktoren ‚Vertrautheitsgrad‘ und ‚Wiederholung‘ deutlich: Inkongruente Endungen von *bekannt* Incipits lösen eine deutliche P3-Ausprägung bei Durchgang 1, bei Durchgang 5 - aufgrund von Habituation - jedoch einen in der Amplitude reduzierten sowie in der Wellenform variierten Spannungsverlauf aus.
2. Bei Präsentation von *unbekannt* Liedanfängen und deren vierter Wiederholung waren keine quantitativen und qualitativen Unterschiede in den Potentialkurven zu beobachten. Hypothese 1 konnte somit verifiziert werden; in bezug auf Hypothese 2 war keine eindeutige Aussage möglich.

¹ im originalen Wortlaut: „These results clearly point to the sensitivity of the LPC [Anm.: late positive component, synonym P300-Komponente] to musical expectation. When such expectations are strongest, either because of the listeners‘ greater expertise, or greater familiarity with a musical phrase, violations lead to greater LPC amplitudes and shorter onset latencies.“ M. Besson et al. „Brain waves associated with musical incongruities“, 1994, S. 102f.

² F. Faita/M. Besson „Electrophysiological index of musical expectancy: Is there a repetition effect on the event-related potentials associated with musical incongruities?“ in: I. Deliège (Hrsg.) *Kongreßbericht 3rd ICMPC - Internat. Conference for Music Perception and Cognition* (23.7. - 27. 7. 1994, Liège), S. 433-435.

³ Anm.: Es wird angenommen, daß bioelektrische Reaktionen nach fünfmaliger Perzeption einer *unbekannt* Melodie denjenigen Reaktionen nach erstmaliger Wahrnehmung eines *bekannt* Themas entsprechen.

⁴ Teilnehmer des Versuches waren acht Probanden, die eine mehrjährige instrumentale Ausbildung vorweisen konnten; hirnelektrische Aktivität wurde an folgenden Punkten gemessen: entlang der antero-posterioren Mittellinie (Fz, Cz, Pz) sowie bilateral von homologen Elektrodenpositionierungen über fronto-temporalen sowie parietalen Hirnregionen.

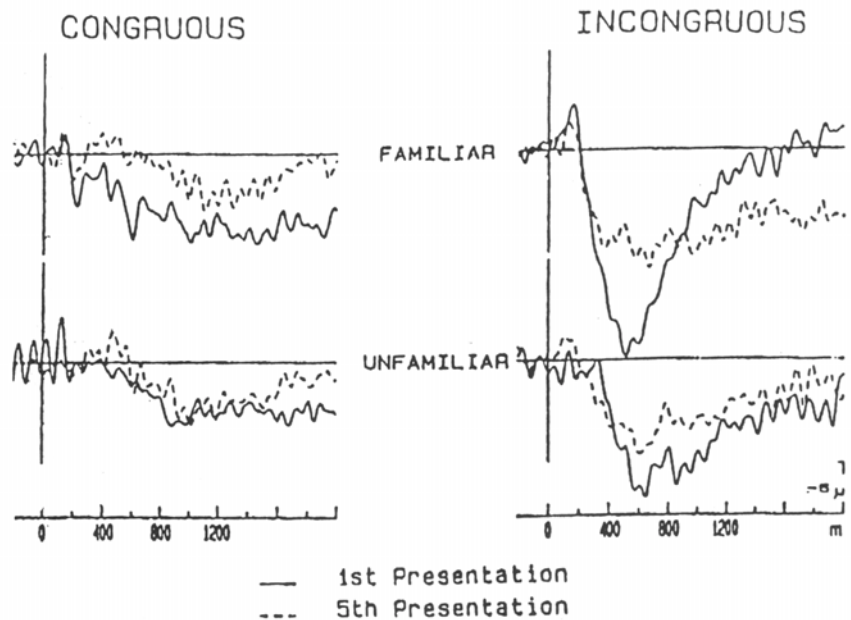


Abb.34. Hirnelektrische Reaktionen auf den ersten und den fünften Durchgang von ‚stimmigen‘ oder ‚unpassenden‘ Finaltönen einer Melodie (durchgezogene bzw. gestrichelte Linie). Obere Reihe: bekannte Incipits, untere Reihe: unbekannte Liedanfänge (grand averages, Messung an Elektrodenposition Pz; Faita & Besson, 1994, S. 434).

Die originäre ‚expectancy/incongruity‘-Studie von M. Besson und F. Macar aus dem Jahr 1987 hat sich für den Bereich der musikbezogenen ERP-Forschung als ein grundlegender Beitrag erwiesen; sie wurde von *Ken A. Paller und Mitarbeitern* in Auszügen repliziert (1992).¹ Wie zuvor M. Besson et al., hatte auch Paller das Untersuchungsziel, eine mögliche N400-Komponente nach inkongruenten *nicht-lexikalischen* Reizen zu ermitteln, d.h. konkret: eine N400-Welle als Reaktion auf deviante Endungen von *bekanntem* Melodieausschnitten zu

¹ K. A. Paller et al. ‚Event-related potentials elicited by deviant endings to melodies‘ *Psychophysiology* 29, 1992, S. 202-206.

finden.¹ Von Bessons Konzept unterschied sich Paller's Design in zweierlei Hinsicht:

a) Incipits, die durch kongruente Finaltöne und solche, die durch inkongruente Finaltöne gekennzeichnet waren, hatten die *gleiche* Wahrscheinlichkeit (oddball-Paradigma mit gleicher Präsentationswahrscheinlichkeit von Ziel- und Nicht-Zielreizen).

b) Vor Präsentation der Schlußnote wurde ein Pausenintervall von 800 msec eingefügt (sog. „delayed-ending condition“²), um bei Probanden die Antizipation (mentale Vorstellung) des korrekten Finaltons vor der eigentlichen Perzeption sicherzustellen.³

V Versuchsergebnisse:⁴

Paller et al. konnten mit ihren Messungen das zuvor von Besson und Macar gewonnene Resultat bestätigen: Weder in Bessons Untersuchung noch in Paller's Studie ist es gelungen, N400-Komponenten für inkongruente Finaltöne unter Verwendung von bekanntem Liedmaterial auszulösen. Bei zusätzlich eingeschobenem 800 msec-Zeitintervall trat eine P3-Welle auf (Versuchsbedingung von K. Paller).

2.6. Bioelektrische Untersuchungen zur Klangfarbenwahrnehmung und Rhythmusverarbeitung

G. C. Crummer und Mitarbeiter sowie M. Tervaniemi et al. haben sich in Beiträgen von 1988 bzw. 1998 mit der Wahrnehmung von Klangfarbenunterschieden und hierauf bezogener hirnelektrischer Aktivität auseinandergesetzt.⁵

G. C. Crummer hatte das Verhalten der P300-Welle nach timbrebedingten Unterschieden

¹ Vorgespielt wurden 44 Liedanfänge, die eine Gesamtlänge zwischen 5 sec und 15 sec hatten; jeder von ihnen setzte sich aus Sinustönen von jeweils 100 msec Dauer zusammen. Als inkongruenter Reiz wurde stets ein Sinuston verwendet, der sich im Tritonusabstand oberhalb oder unterhalb der ursprünglich schlüssigen Finalnote befand.

² Paller et al. „Event-related potentials elicited by deviant endings ...“, S. 205.

³ Paller's Design-Variante wiederum ist als sog. „rhythmic incongruity“-Version von M. Besson et al. in ihre ergänzende Studie von 1994 aufgenommen worden.

⁴ Zehn musikalisch vorgebildete Probanden nahmen an der ersten (von drei) Versuchsreihen teil. Sie erhielten die Instruktion, a) sich in der „Erwartungs-Zeitspanne“ von 800 msec die zum Melodieausschnitt passende Schlußnote mental vorzustellen sowie b) den perzipierten, verzögerten Finalton per Knopfdruck als geeignet oder ungeeignet einzustufen. Hirnelektrische Aktivität wurde an zwölf der Jasper'schen Elektrodenpositionierungen gemessen: an Fz, Cz, Pz, Oz, T3 und T4, an T5 und T6, P3 und P4 sowie an O1 und O2.

⁵ G. C. Crummer et al. „Neural basis for music cognition: initial experimental findings“ *Psychomusicology* 7, 1988; M. Tervaniemi et al. „Neural, behavioral, and computational measures of timbre similarity converge“ *Beitrag Symp. of the Finnish Society for Artificial Intelligence Sept. 7-9th 1998* (ohne Angabe von Seitenzahlen).

untersucht; von M. Tervaniemi et al. wurde die MMN-Komponente als bioelektrischer Indikator verwendet.

In beiden Versuchsreihen unterschieden sich die target-(Deviant-) und non-target-(Standard-)Töne ausschließlich in Hinblick auf den Spektralgehalt; die Parameter ‚Frequenz‘¹, ‚Tondauer‘ und ‚Intensität‘ blieben im Wert konstant.

Crummers ‚oddball‘-Untersuchung bestand aus vier Klangfarbenexperimenten. Tonmaterial waren musikalische Sounds, die auf ‚natürlichen‘ Instrumenten eingespielt und digital gesampelt worden waren. Ton c[♮] einer Trompete in C bzw. in B hatte die Funktion des Standard-reizes, ihm wurde - je nach Versuchsblock - Ton c[♮] gespielt auf einer Tenorposaune oder einer Es-Trompete, auf einer Baß-Tuba oder einer Violine als Deviantreiz gegenübergestellt.² Zu Kontrollzwecken hatte man eine zusätzliche oddball-Sequenz verwendet. Sie enthielt ausschließlich Sinus-Standard- und Sinus-Deviant-Töne mit einer Frequenz von 1000 Hz bzw. 2000 Hz.

V Versuchsergebnisse:

1. Der abweichende ‚target‘-Ton c[♮] - dargeboten auf der Tenorposaune, der Baßtuba oder der Geige - wurde von musikalisch vorgebildeten wie auch von musikalisch unerfahrenen Probanden fast ausnahmslos erkannt (nahezu identische Deviant-Trefferquote in der ‚button press‘-Aufgabe; Abb.35).
2. Gruppenspezifische Unterschiede waren ausschließlich beim Vergleich des Klangfarbeneindrucks von Ton c[♮] präsentiert auf einer B-Trompete (Standard-Reiz) gegenüber Ton c[♮] gespielt auf einer Es-Trompete (Deviant-Reiz) vorhanden. Musiker hatten in diesem Subtest eine signifikant höhere Zahl an korrekten Antworten.

¹ c[♮] = 256 Hz (Crummer et al.); a[♮] = 440 Hz (Tervaniemi et al.).

² Die Testreihe wurde mit musikalisch vorgebildeten sowie musikalisch unerfahrenen Studenten durchgeführt. Elektroden waren auf der antero-posterioren Mittellinie an den Jasper’schen Meßpunkten Cz und Pz plaziert.

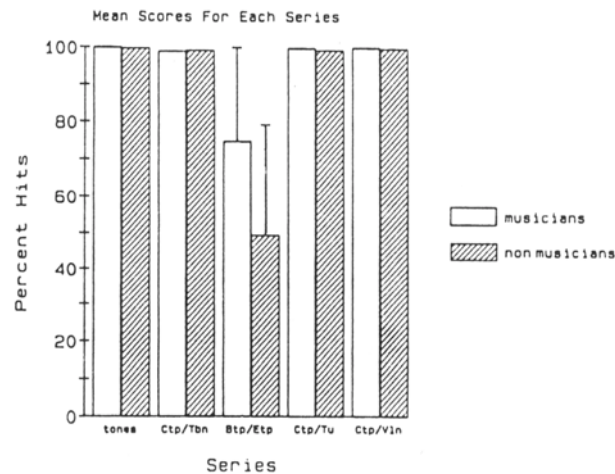


Abb.35. Histogramm zur Klangfarben-Unterscheidung (Ergebnis einer signal detection Aufgabe): Anzahl der von Musikern und Nicht-Musikern korrekt erkannten Klangfarben-Devianten (targets) in einem oddball-Paradigma (Säulen weiß und schraffiert: „Treffer“ in Prozentangaben; Crummer et al., 1988, S. 120).

3. Amplitudenwerte der P3-Welle waren bei schwieriger Klangfarben-Diskrimination (Kombination B-/Es-Trompete, vgl. Punkt 2) für beide Teilnehmergruppen signifikant reduziert; „Musiker“ wiesen dennoch kürzere Latenzzeiten und höhere Amplitudenwerte auf (vgl. Abb.36).

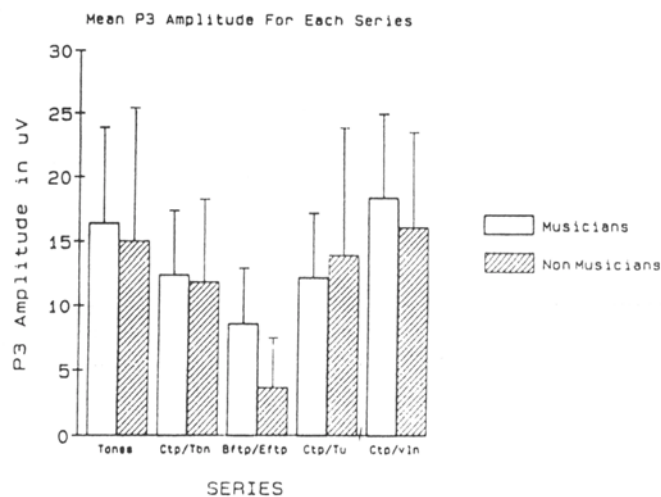


Abb.36. P3-Amplitudenwerte (in Mikrovolt) aus vier Klangfarbenexperimenten. Musikalisch vorgebildete und unerfahrene Probanden. Komponenten-Reaktion auf den jeweils devianten Instrumentalsound (Crummer et al., 1988, S. 120).

Verhaltens- und Komponentendaten machen deutlich, daß musikalisch vorgebildete Versuchspersonen in Situationen der diffizilen Klangfarbenunterscheidung („timbre perception“) andere Wahrnehmungsstrategien als musikalisch unerfahrene Probanden einsetzen.

Tervaniemi *et al.* hatten in ihrer MMN-Untersuchung fünf komplex-periodische statische Töne als Stimulusmaterial in Gebrauch, die mittels additiver Klangsynthese hergestellt worden waren. Jeder dieser synthetisch generierten Sounds enthielt einen Grundton von 440 Hz sowie dieselben 16 Obertöne. Variiert wurde ausschließlich die Schallempfindung ‚Helligkeit‘, d.h. das Stärkeverhältnis der Partialschwingungen zueinander, so daß die Amplitude einer Teilschwingung im Vergleich zur vorausgehenden Partialkomponente einen Wert von 0.1, von 0.3, von 0.5, 0.7 bzw. 0.9 annehmen konnte. Resultat waren Sounds von sehr dunkler bis heller Farbe, die Klängen von natürlichen Instrumenten in der Variationsspanne ‚Horn bis Dudelsack‘ ähnelten. Standardreiz war der dunkle Hornklang. Er wurde mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.8 dargeboten, die ‚residuale‘ Wahrscheinlichkeit von 0.2 entfiel auf die gesamten vier devianten Stimulusarten (4 x 0.05). Amplituden- und Latenzwerte der MMN-Komponente wurden von Tervaniemi *et al.* aus der sog. ‚Differenzkurve‘ (‚subtraction wave‘) ermittelt, die das Ergebnis eines Subtraktionsvorgangs war (Minuend: ERP-Summenkurve als Reaktion auf den Deviant-Klang; Subtrahend: ERP-Summenkurve nach Präsentation des Standardreizes).¹

Versuchsergebnisse:

1. Sämtliche in Hinblick auf die Oberton-Intensität voneinander abweichenden Deviantreize lösen an Meßpunkt Fz eine MMN-Komponente aus (vgl. Abb.37).

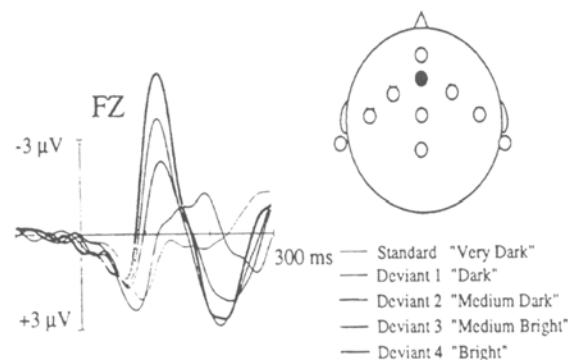


Abb.37. Sounds von unterschiedlicher Obertonintensität haben MMN-Komponenten von verschiedener Amplitudengröße zur Folge. Darstellung von ERP-Differenzkurven, Meßpunkt Fz, Einzelheiten s. Text; Tervaniemi *et al.*, 1998).

¹ Die Stichprobe dieser MMN-Untersuchung hatte einen Umfang von $n = 9$ Probanden; elektrophysiologische Aktivität wurde an den Meßpunkten Fz, Cz und Pz sowie von homologen links-rechts-Elektrodenorten in fronto-temporalen Hirnregionen registriert.

2. Je mehr hochamplitudige Partialtonanteile in einem Sound vorhanden sind (je heller also die Schallempfindung), desto stärker der Anstieg der MMN-Amplitude.
3. Klänge mit schwach ausgeprägter Obertonstruktur und dunkler Klangfarbe lösen Amplitudenpeaks mit erheblich längerer Latenzzeit aus.

Ziel der Studie von *E. Altenmüller* und *R. Beisteiner* (1995) ist es gewesen, mit Hilfe von Gleichspannungs-(DC-)Messungen erstmals neuronale Aktivität (Aktivierungsmuster) während der Perzeption und mentalen Verarbeitung von einfachen und komplexen *Rhythmen* zu untersuchen.¹

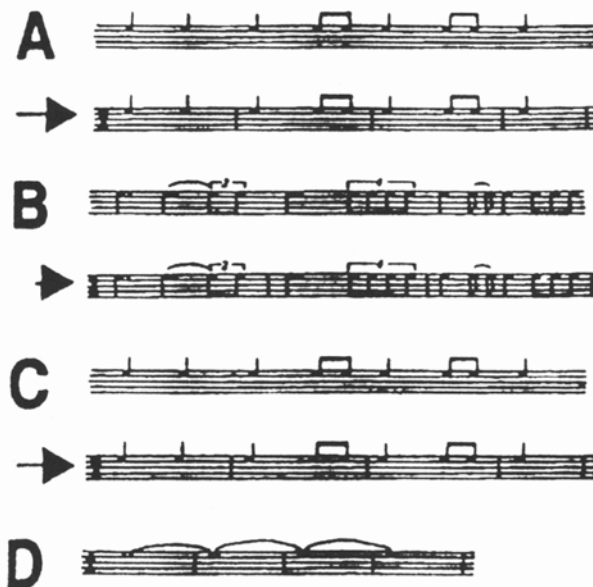


Abb.38. Rhythmus-Pattern aus der DC-Studie von Altenmüller & Beisteiner. Die Muster sollten - bei gleichzeitigem Bilden des Metrums - perzipiert und mental fortgeführt werden (Altenmüller & Beisteiner, 1995, S. 93).

Als Reizmaterial wurden drei rhythmische Modelle mit einer Dauer von jeweils vier Sekunden gewählt (siehe Notenbeispiele Abb.38). Die rhythmischen Folgen bestanden aus Viertel- und

¹ E. Altenmüller/R. Beisteiner „Musiker hören Musik: Großhirnaktivierungsmuster bei der Verarbeitung rhythmischer und melodischer Strukturen“ *Jb. der Dt. Ges. f. Musikpsychologie* 12,1995, S. 89-109; 19 männliche und weibliche Musikstudenten nahmen am DC-Versuch teil; hirnelektrische Aktivität wurde an zehn homologen Punkten der linken und rechten Großhirnhemisphäre gemessen, die Elektrodenplazierungen über den frontalen, temporalen und parietalen Regionen des Cortex lauten: F3/F4, F7/F8, T3/T4, T5/T6 sowie P3/P4.

Achtelnoten (Muster A und C) resp. Duolen, Quartolen, Punktierungen und Überbindungen (Muster B).¹ Versuchspersonen hatten die Aufgabe, aufmerksam zuzuhören (Pattern A, B, C und D) sowie den einfachen Viertel-/Achtelnotenrhythmus in einem nachfolgenden Vier-Sekunden-Abschnitt mental (ohne Reizvorgabe) fortzuführen, so daß hierbei „ausschließlich mit *verarbeitungsbezogenen* [und nicht *wahrnehmungsbezogenen*] Großhirnaktivierungsmustern zu rechnen war.“²

V Versuchsergebnisse:

1. Bei Wahrnehmung von einfachen und von komplizierten Rhythmen konnten negative Potentialverschiebungen in parietalen, frontotemporalen und frontalen Kortexbereichen - dort mit maximalen Amplitudenwerten - gemessen werden (vgl. Abb.39: DC-Kurven, (Wahrnehmungs)phase 1, Elektrodenpositionen F3, F4, F7, P3 und P4)

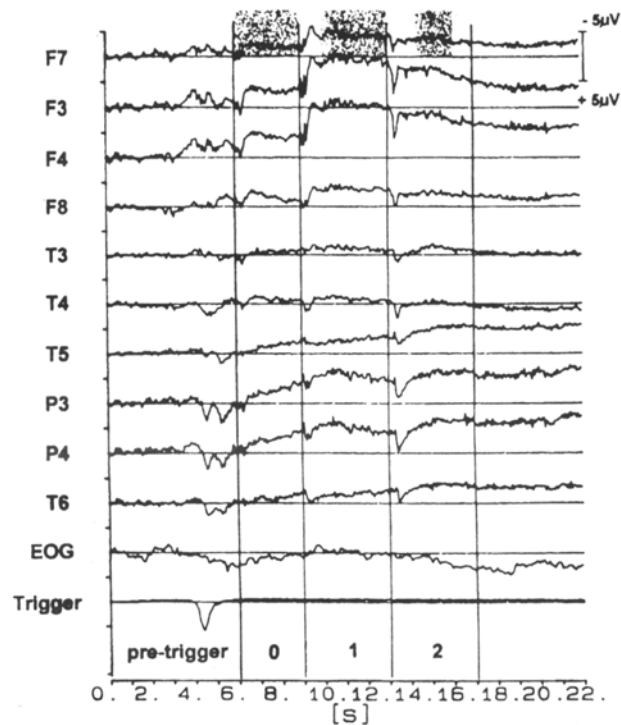


Abb.39. DC-shifts bilden sich in der Wahrnehmungsphase an den Meßpunkten F3, F4, F7, P3 und P4 aus. „Negative shifts“ bleiben während der Vorstellungphase im Parietalbereich konstant, reduzieren sich im Amplitudenwert jedoch über frontalen Hirnarealen (Altenmüller & Beisteiner, 1995, S. 95).

¹ Tonhöhe und Lautstärke der einzelnen Ton-Elemente blieben konstant (440 Hz, 60 dB).

² Altenmüller/Beisteiner „Musiker hören Musik“, S. 92, nicht kursiv im Original.

2. Das mentale Fortführen des einfachen Rhythmus-Modells (Phase 2 in den DC-Negativierungen) hatte eine Abnahme der Gleichspannungs-Aktivität über frontalen Hirnarealen zur Folge. In der Parietalregion blieb die Größe der Amplitudenwerte konstant, zusätzlich war ein Anstieg des Kurvenverlaufs im hinteren Temporallappenbereich (an Elektrode T5 und T6) zu beobachten, ein Hirnareal, das - so Altenmüller und Beisteiner - „bei der Verarbeitung von Zeitstrukturen akustischer Reize [eine besonders wichtige] Rolle“¹ spielt.
3. In Hinblick auf links-rechtshemisphärische Verteilung von Potentialaktivität (Lateralisierungs-Problematik) war sowohl das Wahrnehmen als auch das mentale Fortsetzen der Rhythmusstrukturen mit einer leichten, statistisch nicht signifikanten Tendenz zu einer linksseitig verstärkten Aktivierung verbunden.

2.7. Hirnelektrische Vorgänge beim Vorstellen oder mentalen Strukturieren von Tonmaterial

Zu den Forschungsfeldern 1. „Imagination von musikalischen Inhalten“ (ohne Reizeinwirkung) sowie 2. „aktive, bewußte Perzeption kombiniert mit einer mentalen Modellierung des wahrgenommenen Tonmaterials“ wurden einzelne und vom Untersuchungsansatz her unterschiedliche Beiträge von den Neurowissenschaftlern *W. Paulus*, *R. Brix* und *R. Beisteiner* verfaßt.

W. Paulus hatte 1985, explorativ, eine Studie zu mentalen Modellierungs-Vorgängen konzipiert und hierzu Meßdaten der exogenen N1-/P2-Komponenten ausgewertet.²

Probanden erhielten die Aufgabe, eine einfache Sechstonfolge a) mental mit Hilfe von vorgegebenen Versfüßen zu metrisieren (gewichten) bzw. b) eine Achttonsequenz durch Phrasierungstechnik sinnvoll zu segmentieren (motivisch zu gliedern).

¹ Altenmüller/Beisteiner „Musiker hören Musik“, S. 103.

² W. Paulus *Der Einfluß musikalischer Reizqualitäten auf späte akustisch evozierte Potentiale* Diss. Erlangen-Nürnberg 1985, kurzgefaßt in zwei Aufsätzen: „Effect of musical modelling on late auditory evoked potentials“ *Eur. Arch. of Psychiatry and Neurological Sciences* 237, 1988, S. 307-311 sowie „Event-Related Potentials evoked by music lack a dissonance correlate“ *Psychomusicology* 11, 1992, S. 152-156; letzteres dargestellt auf S. 58 dieser Arbeit.

„Rohmaterial“ waren „neutrale“ isochrome Rechtecktöne in Dreiklangsmelodik (Tondauer jeweils 400 msec bzw. 500 msec, vgl. Abb.40), die von Versuchspersonen in fünf aufeinanderfolgenden Durchgängen auf gleichbleibende Art und Weise mental gestaltet/gruppirt werden sollten.¹



Abb.40. Sechs bzw. acht isochrome Rechtecktöne in Dreiklangsmelodik (Studie von W. Paulus). Sie sollten bewußt perzipiert und zugleich metrisch gewichtet bzw. phrasiert werden (Paulus, 1988, S. 308).

Das Setzen des Metrums, d.h. das mentale plastische Formen der Tonfolge in schwere (betonte) und leichte (unbetonte) Elemente, war im Sinne der bekanntesten sechs Versmaße - darunter der einfache Jambus und Trochäus - auszuführen.

Motivische Gestaltung (Aufgabe b) sollte hingegen in der Anordnung „5 Noten, dann 3 Noten“ oder vice versa „3 Noten, dann 5 Noten“ erfolgen.

Versuchsergebnisse:

1. Metrisierung von Tonelementen (Aufgabe a) ergab intra-individuell stabile, jedoch inter-individuell variable neurophysiologische Reaktionen: Versuchsteilnehmer 1 hatte auf sämtliche schwere Ton„silben“ mit einer P2-„Senke“ von großem Amplitudenwert reagiert (Fz und Pz). Proband 2 hingegen zeigte bei Anwendung der Versmaße „Anapäst“ und „Daktylus“ ein negatives Potential auf der schweren Taktzeit, Versuchsperson 3 wiederum hatte eine negative Gleichspannungsverschiebung unmittelbar *vor* dem Setzen des schweren Akzents ausgeprägt (dazu Abb.41, Vpn 1 bis Vpn 3).

¹ Vier Vpn mit instrumentalen Vorkenntnissen nahmen an beiden Modellierungsexperimenten teil. Hirnstromaktivität ist anterior-posterior an den Jasper'schen Meßpunkten Fz, Pz und Oz gemessen worden. Aufgrund der großen inter-individuell vorhandenen Variabilität in den Potentialkurven wurden von Paulus keine Summenkurven (grand averages) erstellt, sondern neurophysiologische Reaktionen separat für jede Vpn ausgewertet.

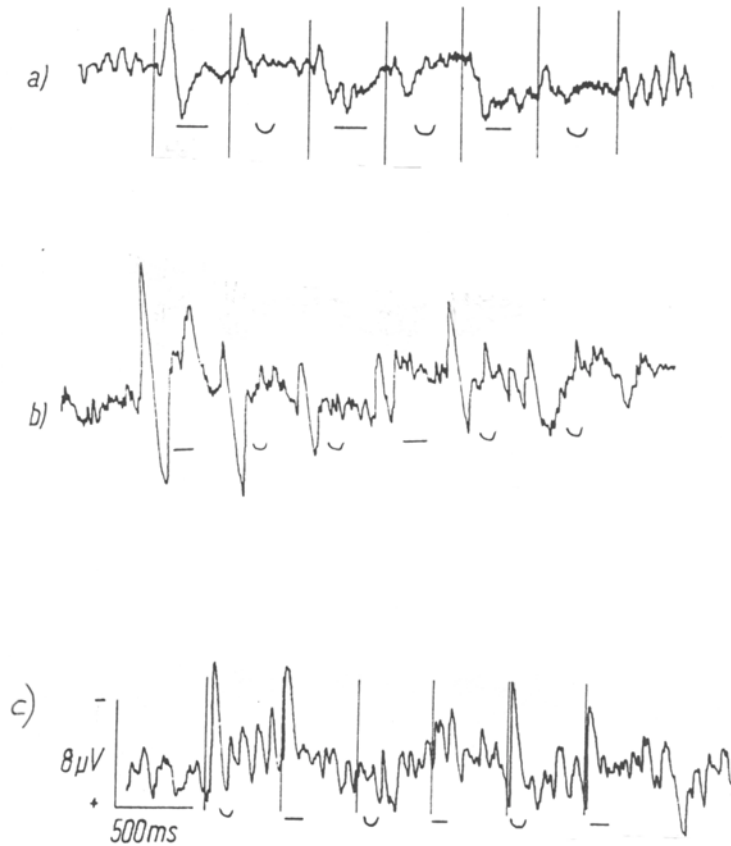


Abb.41. Potentialkurven *einzelner* Probanden: Metrisierung der Sechston-Folge a) unter Verwendung des Trochäus, b) des Daktylus und c) des jambischen Versmaßes (hirnelektrische Reaktionen von Vpn 1(a), Vpn 2 (b) und Vpn 3 (c); Paulus, 1988, S. 308/309).

2. *Latenz-Verzögerungen* bei der Komponentenbildung waren weder nach schweren noch nach leichten ‚Taktteilen‘ zu beobachten. Das metrische Gestalten der sechstönigen Sequenz ging jedoch mit einer links-rechts-hemisphärischen Komponenten-Verschiebung (*Lateralisierung*) einher: für Ton 1 war ein hochamplitudiger N1-P2-Komplex in der linken Hirnhälfte vorhanden. Für Ton 2 bis 5 wurden größere Amplitudenwerte in der rechten Hirnhälfte gemessen; N1-/P2-peaks für Ton 6 der Reizfolge waren abermals in der linken

Hemisphäre zu finden.¹

3. Das Phrasieren (Segmentieren) des Rohmaterials, d.h. das motivische Gestalten der Achttonsequenz in Sinneinheiten zu 3 und 5 bzw. 5 und 3 Stimuli (Aufgabe b), war für sämtliche Probanden mit einer zweifachen Gleichspannungsverschiebung (synonym: doppelter DC-shift) an Fz und Pz verbunden. Der *musikalische* Phrasierungseinschnitt (Endung von Motiv 1) hatte in der Hirnstromkurve eine ebensolche Entsprechung (Zäsur erkennbar als abfallende Spannung und erneuter Potentialanstieg). Konturbildung war somit zugleich auf musikalisch-motivischer wie auf neurophysiologischer Ebene vorhanden (Abb.42).

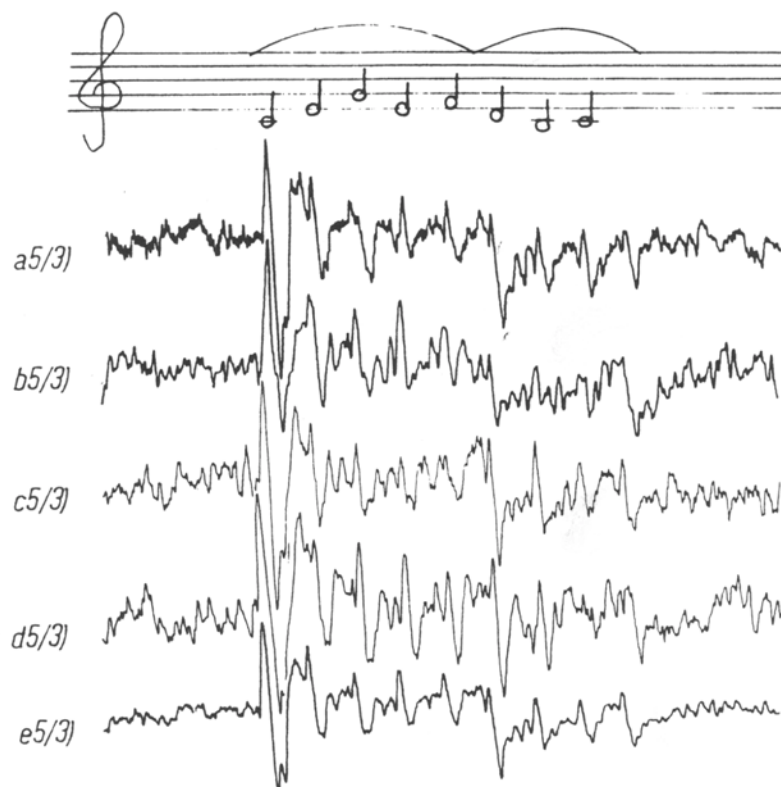


Abb.42. Phrasierung (Segmentierung) der Achtton-Folge in Gruppen zu fünf und drei Tönen: Doppelter DC-shift an Fz und Pz im Roh-EEG einer jeden Vpn (Bsp. a bis d; Bsp.e: grand average). Beachte die Übereinstimmung zwischen dem Phrasierungseinschnitt in der Melodie und der Zäsur im DC-Verlauf (Paulus, 1988, S. 309).

¹ ausführlicher in W. Paulus Diss. 1985 S. 36ff.

W. Paulus zieht folgendes Fazit:

Metrisierungsvorgänge (Aufgabe a) lösen individuell verschiedene psychische Prozesse aus. Darauf deuten die bioelektrisch unterschiedlichen Reaktionen der Versuchsteilnehmer bei der metrischen Schwerpunktbildung hin - („Schwerepositivierung“, „Schwerenegativierung“ (Bezeichnungen von Paulus) sowie Gleichspannungsverschiebung¹).

Motivische Gestaltung (Phrasierung, Aufgabe b) hat bei sämtlichen Probanden *identische* Aktivierungsvorgänge zur Folge, so daß inter-individuell gleichartige DC-Verschiebungen im Hirnstrombild sichtbar sind.²

Um eine Überlagerung von Vorgängen der primären sensorischen Wahrnehmung und solchen der kognitiven Verarbeitung zu vermeiden, hat R. Beisteiner, Neurophysiologe aus Wien, ein Versuchsdesign der ‚seriellen Art‘ entworfen, mit dem hirnelektrische Reaktionen separat für die aufeinanderfolgenden Zeitabschnitte des passiven Hörens und der aktiven mentalen Tonvorstellung registriert werden konnten.^{3,4} Drei Arten von Aufgaben waren mental, im Anschluß an die Wahrnehmungsphase zu lösen: Beisteiners *analytischer* Test bestand darin, aus einem tonalen oder atonalen Vier-Ton-Motiv von vier Sekunden Dauer die rückläufige Bewegung zu formen (musikalische Satztechnik: ‚Krebs‘, ‚Krebsgang‘). In der *kreativen* Aufgabe hatten sich Versuchsteilnehmer zum nämlichen Vier-Ton-Motiv eine geeignete viertönige Fortsetzung zu überlegen. Und im musikalischen *Gedächtnistest* waren Themenausschnitte aus bekannten Sinfonien oder Instrumentalkonzerten mental auf richtige Art fortzusetzen. Beisteiners Dissertation ist eine Studie zum Thema ‚funktionelle Spezialisierung beider Hirnhälften (Lateralisierung)‘; Cortexaktivität wurde mit Hilfe von Gleichspannungsverstärkern gemessen.⁵

¹ Paulus *Diss.* 1985, S. 26ff.

² ebd., S. 65ff; im originalen Wortlaut: ‚motif might be the same phenomenon inter-individually in contrast to metre, which presumably, is performed by each subject in a different way.‘ (W. Paulus ‚Effect of musical modelling ...‘ *Eur. Arch. Psychiatr. Neurol. Sci.* 1988, S. 311).

³ R. Beisteiner *Analytische-, kreative- und Gedächtnisprozesse beim Hören und Verarbeiten von Musik - eine DC-Potential-Studie* Diss. Med. Fakultät der Universität Wien 1992, Kurzfassung der Dissertation in: *Wiener klinische Wochenschrift* 104, 1992, S. 47-48.

⁴ Das Paradigma wurde auch in der 1995 erstellten Rhythmus-/DC-Potentialstudie von E. Altenmüller und R. Beisteiner verwendet (vgl. S. 80ff dieser Arbeit).

⁵ Die Stichprobe setzte sich aus 18 Wiener Musikstudenten zusammen; Gleichspannungsaktivität wurde von elf Jasper'schen Meßpunkten aufgezeichnet: F7, F8, F3, F4, T3, T4, T5 und T6, P3 und P4 sowie Oz. Jeder Ton‘baustein‘ der mit einem Synthesizer erstellten Tonfolgen bestand aus drei Partialtönen.

Versuchsergebnisse:

a) Phase 1 (Perzeption des Tonmaterials):

Signifikante zentralnervöse Aktivität war nicht global - bezogen auf eine gesamte Hemisphäre - sondern regional, begrenzt auf einzelne Hirnregionen, zu beobachten: *Atonale* Vier-Ton-Motive hatten einen Anstieg des Gleichspannungsniveaus linksseitig parieto-temporal zur Folge (Elektroden über dem linken primären Hörzentrum), *tonale* Ausschnitte aus bekannten Instrumental-Themen lösten DC-Negativierungen an parietotemporalen Elektroden der rechten Hemisphäre aus.

b) Phase 2 (mentales Vorstellen, Lösen von musikalisch-satztechnischen Aufgaben):

1. DC-Potentiale mit *maximalen* Amplitudenwerten konnten in der analytischen Aufgabe beobachtet werden; DC-Amplitudenwerte waren in der kreativen Aufgabe am geringsten.
2. Parietotemporale Rindenzfelder der *linken* Hirnhälfte wurden nicht nur bei der rückwärts-vorwärts-Motivbildung aktiviert (analytische Aufgabe), sondern - überraschenderweise - auch beim Lösen der kreativen Aufgabe (Erfinden einer Motivfortspinnung). Das elektrophysiologische Ergebnis weist auf sequentiell-analytische Denkprozesse auch bei kleinen Kompositionsvorgängen hin.
3. Anders verhielt es sich im Themen-/Melodie-Gedächtnistest; er macht eine Aktivierung von gespeichertem musikalischen Inhalt aus dem Langzeitgedächtnis erforderlich: DC-Negativierungen bildeten sich hier überwiegend *rechtshemisphärisch* parietotemporal aus. (vgl. Abb.43).

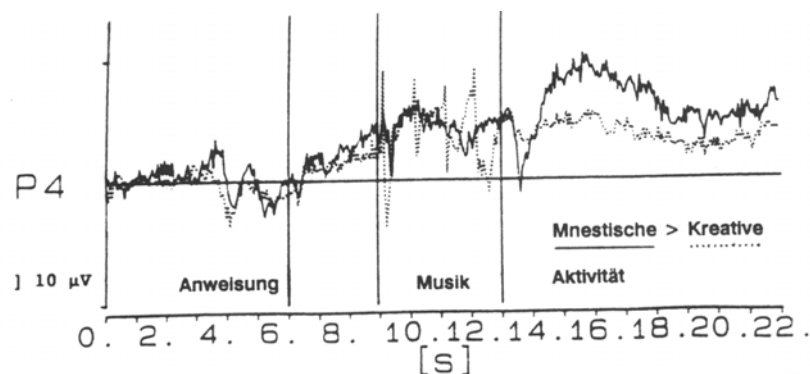


Abb.43. Beispiel für eine sequentielle Darstellung von Hirnstromaktivität (separat für den Zeitabschnitt der Perzeption und der kognitiven Weiterverarbeitung, entwickelt von R. Beisteiner). DC-shifts während des Gedächtnistests. Vpn haben rechtshemisphärisch parieto-temporal größere Amplitudenwerte als in der kreativen Aufgabe (grand average, Meßpunkt P4; Negativität nach oben aufgetragen; Beisteiner, 1992, S. 48).

R. Brix stellt in seinem Beitrag von 1977 erstmals ein DC-Potential vor, das vom Vertex (Elektrodenort Cz) aufgezeichnet werden konnte, ohne daß zugleich eine sensorische Reizung vorhanden war.¹ In diesem Potential bildeten sich statt dessen mentale, bewußte Vorgänge des Sich-Vorstellens von Sinneseindrücken bzw. des Sich-Erinnerns ab - Prozesse also, des Sich-ins-Gedächtnis-Rufens von im Langzeitgedächtnis gespeicherten Inhalten. Diese Art der negativen Gleichspannungsverschiebung wurde von R. Brix als ‚Vorstellungspotential‘ bzw. ‚akustisches Imaginationspotential‘ (AIP) bezeichnet.

Die zeitliche Ausdehnung der Spannungsverschiebung war durch die Dauer der mentalen Vorstellung gegeben, die Höhe der Amplitude hingegen durch den Aufmerksamkeitsgrad der Probanden bedingt, so daß bei intensiver Imaginationstätigkeit Vorstellungspotentiale mit Amplitudenwerten bis zu 20µV und einer Länge von mehreren Sekunden gemessen werden konnten. Da ein externer akustischer Reiz als möglicher Trigger für eine Synchronisation von Signalquelle und EEG-Gerät fehlte, wurde auf das Mitteln von Vorstellungspotentialen aus verschiedenen Durchgängen *einer* Versuchsperson resp. auf das Aufsummieren von Imaginationspotentialen *mehrerer* Probanden zu grand averages verzichtet. Statt dessen sind die *individuellen* AIP-Antworten einer jeden Versuchsperson im ‚Roh-EEG‘ - ohne ein vorausgehendes Herausfiltern des spontanen Hintergrundrauschens - untersucht worden.² Versuchsteilnehmer erhielten die Instruktion, sich einen Ton mit einer Dauer von ein bis zwei Sekunden vorzustellen (Test 1) bzw. für das ‚innere Hören‘ einen beliebigen musikalischen Vorstellungsinhalt von sechs Sekunden Länge (Melodie, Akkord) auszuwählen (Test 2). Unmittelbar nach jedem Imaginations-Vorgang wurde eine Befragung durchgeführt, in der die Versuchspersonen Informationen zur Art, zur Intensität und Dauer des Vorstellungsinhalts geben sollten. AIP-Kurvenbild und subjektive Vpn-Angaben wurden hernach miteinander verglichen.

¹ R. Brix ‚Die Objektivierung akustischer und optischer Vorstellungen im Elektroenzephalogramm‘ *Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 217, 1977, S. 209-219.

² Elektrophysiologische Reaktionen wurden von insgesamt zehn Probanden registriert. Meßpunkt für EEG-Spontanaktivität einschließlich ‚integrierter‘ Imaginationspotentialen war die Elektrodenplatzierung Cz über dem Vertex.

Versuchsergebnisse:

1. Parallel zur intensiven Vorstellung eines - wohl komplexen, d.h. aus mehreren Partialkomponenten bestehenden - Tons war eine negative Gleichspannungsverschiebung („sustained potential“) im Roh-EEG an Elektrodenposition Cz zu beobachten.
2. Zwei, in der mentalen Vorstellung direkt aufeinanderfolgende Töne haben an Elektrodenort Cz ein zweifaches „sustained potential“ zur Folge (Abb.44b).
3. Das Sich-ins-Gedächtnis-Rufen von gespeicherten musikalischen Inhalten *beliebiger* Art (Test 2) ging nicht nur mit einem auditiven Eindruck, sondern zumeist auch mit optischen Vorstellungen bzw. optischen Imaginationspotentialen in der Occipitalregion einher.

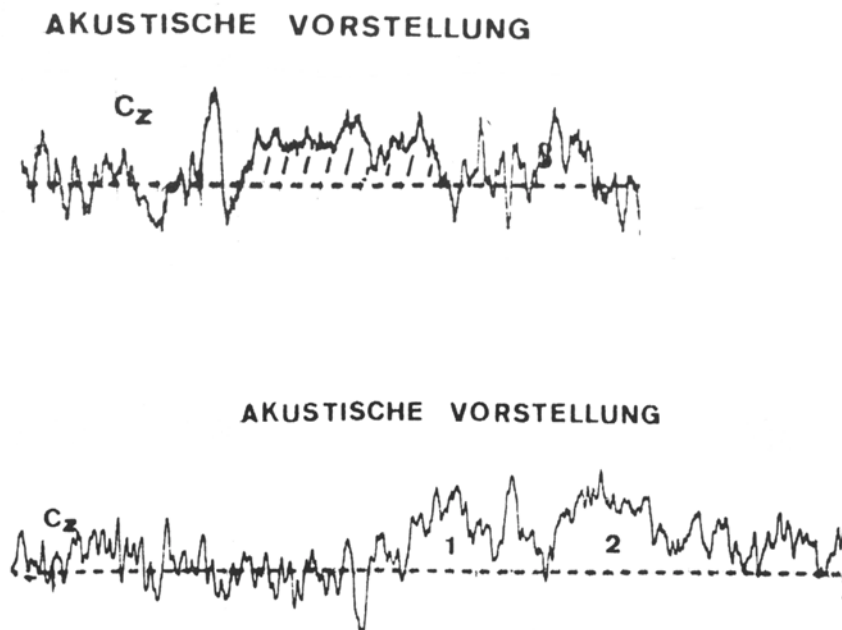


Abb.44. Akustisches Imaginationspotential (AIP) im Roh-EEG einer *einzelnen* Vpn a) während der Vorstellung eines einzelnen Tons, b) während der Vorstellung von zwei separaten, durch eine Pause getrennten Tönen (Meßpunkt jeweils Cz, Negativität nach oben aufgetragen; Brix, 1977, S. 212/213).

3. Kulturvergleichende Psychologie und experimental ethnomusicology

3.1. Anmerkungen zu beiden Fachgebieten

*Ethnologische Untersuchungen sollten mit experimentellem Vorgehen verbunden werden*¹ - dieser Vorschlag des Tonpsychologen und führenden Vertreters der Vergleichend-Systematischen Musikwissenschaft Carl Stumpf aus dem Jahr 1910 hat auch in der heutigen Zeit nicht an Gültigkeit verloren. So schreibt M. Imberty im Vorwort eines 1997 von J. Sloboda und I. Deliège herausgegebenen Buches „... *experimental research* in ethnomusicology is important, both in its suggestions of hypotheses for musical cognition, and on the methodological level. We must not forget that the musical object, in its structure as well as in its perception is eminently cultural.“²

Zugleich ist Stumpfs empirisch-experimenteller Standpunkt auch ein wichtiges Kriterium, um das im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts begründete Fach ‚Vergleichende Musikwissenschaft‘ von der eher deskriptiv ausgerichteten, erst nach dem Zweiten Weltkrieg mit einem eigenständigen Begriff belegten Disziplin ‚Musikethnologie‘ abzugrenzen. A. Schneider stellt die Unterschiede beider Arbeitsgebiete heraus:

... während dieser [Musikethnologie] vornehmlich die Erforschung einzelner Musikkulturen zukommt, hat jene [Vergleichende Musikwissenschaft] immer auch biologische, akustische, phonetische sowie eben psychologische Fragen in interkultureller Perspektive berücksichtigt ... Insoweit unterscheidet sich das auf Grundlagenforschung gerichtete und Gebiete wie Akustik, Gehörphysiologie und -psychologie einbeziehende Konzept vergleichend-systematischer Musikwissenschaft deutlich von der eher ‚kulturalistischen‘ Musikethnologie ...³

Die Aufgabenbereiche der vergleichend-systematischen Forschungsrichtung hatte Stumpfs Mitstreiter Erich M. v. Hornbostel bereits im Jahr 1910 aufgeführt. Sie lauten: a) Experimente, an denen nichteuropäische Probanden teilnehmen, b) Tonmessungen von (außereuropäischen)

¹ vgl. C. Stumpf/E. M. v. Hornbostel „Über die Bedeutung ethnologischer Untersuchungen für die Psychologie ...“ Bericht über den 4. Kongreß für exp. Psychologie Innsbruck 1910 (Neudruck in:) *Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft* 6, 1911, S. 103 und 105.

² I. Deliège/J. Sloboda *Perception and cognition of music*, 1997, Preface XV; nicht kursiv im Original.

³ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, 1997, S. 12; vgl. dazu auch A. Simon „Probleme, Methoden und Ziele der Ethnomusikologie“ *Jb. musikal. Volks- und Völkerkunde* 9, 1978, S. 8-52 sowie R. Lach *Die vergleichende Musikwissenschaft, ihre Methoden und Probleme*, 1924.

Musikinstrumenten und c) Analyse von Phonogrammen.¹

Der experimentelle Gedanke ist auch in den anderen, außer-musikalischen Disziplinen, etwa der ‚Kulturvergleichenden Forschung‘ (cross-cultural studies) und der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘ (cross-cultural psychology) implizit oder explizit Mittel und Ausgangspunkt für Erkenntnistätigkeit.

E.D. Brown und L. Sechrest, beispielsweise, schreiben diesbezüglich: „... the underutilization of experimental methodology in cross-cultural studies may be attributable to a lack of understanding of the basic nature and purpose of cross-cultural research.“²

‚Kulturvergleichende Psychologie‘ verfolgt zwei wichtige und vielfach aufgeführte Ziele:

1. Psychologisch bedeutsame Verhaltensunterschiede zwischen Angehörigen verschiedener Kulturen sind zu beschreiben und zu analysieren,
2. Ansätze, Hypothesen und Theorien, die in der westlichen Kultur entwickelt worden sind, sollen auf ihre Generalisierbarkeit hin überprüft werden.³ (Im Wortlaut von E. D. Brown und L. Sechrest: „One of the chief reasons for conducting cross-cultural work is to ‘test for the level of generality of a theory or proposition.“⁴)

Grundlage und gemeinsame Basis der ‚Vergleichenden Musikwissenschaft‘ und der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘ ist somit das methodische Vorgehen an sich: a) der *Vergleich* als Operation, d.h. das Finden von Gemeinsamkeiten resp. signifikanten Unterschieden wie auch b) ‚die Ordnung (*Klassifikation, Systematisierung*) größerer Materialbestände oder Gegenstandsbereiche“⁵.

H. Helfrich stellt hierzu fest:

Während die meisten Forschungsrichtungen innerhalb der Psychologie durch ihren *Inhalt* gekennzeichnet sind, bestimmt sich der kulturvergleichende Ansatz im wesentlichen durch seine

¹ vgl. A. Beurmann/A. Schneider ‚Probleme und Aufgaben akustisch-tonometrischer Forschung ...‘ in: *Acustica* 69, 1989, S. 157 sowie A. Schneider/A. Beurmann ‚Tonsysteme, Frequenzdistanz ...‘ *Hamb. Jb. f. Musikwissenschaft* 11, 1991, S. 180.

² E. D. Brown, L. Sechrest ‚Experiments in cross-cultural research‘, 1980, S. 298.

³ vgl. A. Thomas *Kulturvergleichende Psychologie*, 1993, Einleitung, S. 14; ähnlich J. Wassmann ‚Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen ...‘, S. 23.

⁴ ebda, S. 299.

⁵ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, S. 10.

Methode ... Nicht das Phänomen ‚Kultur‘ steht im Mittelpunkt des Forschungsinteresses, sondern der Vergleich der Ausprägung psychischer Gegebenheiten in verschiedenen Kulturen.^{1,2}

Ein auf empirischen Daten basierender *Vergleich* von kulturgeprägtem psychischen *Verhalten* und anderen kulturspezifischen Gegebenheiten wird dennoch nicht immer für richtig befunden: Geht man vom *streng kulturrelativistischen* Standpunkt aus, wie ihn etwa F. Boas und andere Ethnologen Nordamerikas vertreten,³ so wird ein derartiges methodisches Vorgehen zumindest in Frage gestellt, wenn nicht sogar verworfen. Eine solche Einstellung wird im Wissenschaftsbereich ‚Anthropologie‘ als ‚Malinowski’sches Dilemma‘ bezeichnet.

Eckensberger schreibt zu diesem Problem:

Die Konzeption des ‚kulturellen Relativismus‘ führte in der Literatur konsequent zu der Position, daß ein Kulturvergleich grundsätzlich nicht möglich sei, weil jede Kultur etwas Einmaliges, Unvergleichliches darstelle. So schreibt Goldsmith (1966) über Malinowski, einen der wesentlichen Repräsentanten dieser Auffassung: ‚Malinowski was most insistent that every culture be understood in its own terms; that every institution be seen as a product of the culture within which is developed. It follows from this that a cross-cultural comparison of institutions is essentially a false enterprise, for we are comparing incomparables.‘⁴

Dennoch besteht der Trend der gegenwärtigen Forschungspraxis nicht darin, kulturelle Phänomene als absolute und ureigene Sachverhalte nach Art Malinowski’scher ‚Fallstudien‘ abzuhandeln. ‚Es folgt geradezu aus der ‚Logik der Forschung‘ [Anm.: Standardwerk der Wissenschaftstheorie, verfaßt von Karl R. Popper]‘, argumentiert A. Schneider, ‚daß auch der relativistische Ansatz Punkte bzw. Kategorien benötigt, die transkulturell definiert und insoweit *fixed* sein müssen, weil sonst die Fülle der Erscheinungen nicht als *relativ* zu diesen betrachtet

¹ *Kulturvergleichende Psychologie* (Hrsg. A. Thomas) Kap. 3, S. 81, kursiv im Original.

² NB: L. Eckensberger beschreibt die Aufgabe von kulturvergleichender psychologischer Forschung auf andere Weise; er macht auf den unterschiedlichen Gebrauch des Begriffes ‚Kulturvergleich‘ in der Anthropologie und der Psychologie aufmerksam:

Es zeigt sich, daß der Kulturvergleich in der Anthropologie verwendet wird, das Kulturkonzept selbst zu klären; in der Psychologie dagegen soll mit dem Kulturvergleich der Varianzanteil menschlichen Verhaltens aufgedeckt werden, der zu Lasten kultureller Bedingungen geht. (vgl. L. Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, 1970, S. 89.)

³ vgl. hierzu W. Rudolph *Der kulturelle Relativismus* Berlin: Duncker & Humblot, 1968.

⁴ ebd., S. 11.

werden kann.^{1,2}

Bilden die Vergleichende (cross-cultural) Forschung auf der einen und die Kulturrelativistische Forschung auf der anderen Seite demnach eine Art methodischen ‚Dipol‘, so stehen hiermit zugleich zwei, von dem Linguisten Kenneth L. Pike im Jahr 1954 geprägte Begriffe in Zusammenhang, die diese komplementären Auffassungen bzw. unterschiedlichen empirisch-experimentellen Vorgehensweisen wiedergeben. Es sind dies die Begriffe ‚*emisch*‘ (*emic*) und ‚*etisch*‘ (*etic*). Pike listet selbst die Besonderheiten beider Ansätze auf:

Emic approach: studies behaviour from within the system \ examines only one culture \ structure discovered by the analyst \ criteria are relative to internal characteristics. Etic approach: studies behaviour from a position outside the system \ examines many cultures, comparing them \ structure created by the analyst \ criteria are considered absolute or universal.³

Eine weitere Differenzierung des Pike’schen *etic*-Begriffs wird von dem Musikologen und Afrikanisten G. Kubik empfohlen. Das Ergebnis wäre ein *ternäres* Modell, welches sich aus den Komponenten a) ‚emic or intracultural standpoint‘, b) ‚etic standpoint‘ sowie c) ‚idiocultural standpoint‘ zusammensetzt und tatsächliche Gegebenheiten der Forschungspraxis spiegeln soll. Der neue dritte Bestandteil, so Kubik, gäbe dabei „the most frequently encountered approach, if not the ‘normal‘ one“⁴, wieder, der darin besteht, Meßmethoden und Beurteilungsmaßstäbe anzuwenden, die nach Wissenschaftskriterien des zumeist zur westlichen Hemisphäre gehörenden *Herkunftslandes* des jeweiligen Forschers ausgerichtet sind. „[The foreign researcher] projects“, heißt es in diesem Zusammenhang, „... (quite often unconscious) premises upon the material in the culture he wants to analyse.“⁵

¹ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, S. 31, kursiv im Original.

² Für derartige Oberbegriffe und Kategorien, die zur Einordnung von interkulturell vorhandenen Sachverhalten verwendet werden, sind die an der Yale University angelegten und häufig zitierten ‚Human Relations Area Files‘ (HRAF) aus dem anthropologischen Bereich ein gutes Beispiel. Es sind Dateien, in denen sich geographische, soziale und kulturelle Daten von mehreren hundert sozialen Gruppen befinden, welche nach a priori festgelegten, ordnenden Hauptmerkmalen vom Jahr 1949 an systematisiert und gespeichert worden sind (dazu L. Eckensberger *Methodenprobleme*, S. 28 und 64f).

³ K. Pike zit. nach A. Simon ‚Probleme, Methoden und Ziele der Ethnomusikologie‘, 1978, S. 36.

⁴ G. Kubik ‚Emics and etics: theoretical considerations‘ *African Music* 7, 1996, S. 6.

⁵ loc. cit.

Empirisches Vorgehen entsprechend der dritten, ‚idiokulturellen‘ Art wurde erstmals von dem in Amerika wirkenden Ethnologen und Kulturanthropologen Franz Boas kritisch beleuchtet.

Es ist seither unter der (originären) Bezeichnung ‚Ethnozentrismus‘ bzw. ‚Eurozentrismus‘ bekannt.¹

Segall, Campbell und Herskovits erläutern den Begriff wie folgt:

Anthropologists have encountered phenomenal absolutism in man's tendency to perceive and value other cultures in terms unconsciously based upon his own, but phenomenally experienced as absolute and universally applicable. Widely used to describe this naive attitude is the term 'ethnocentrism' ... it can be defined as the view of things in which one's own group and its customs are unconsciously used as the standard for all judgements, as the center of everything, with all other peoples and customs scaled and rated accordingly.²

Die zunehmende ethnozentrische Haltung eines kulturvergleichend tätigen Forschers, so ergänzen die Wissenschaftler, sei mit dessen frühen Lern- und Sozialisationsprozessen resp. mit dem Vorgang des ‚In-die-[eigene]-Kultur-Eingeführtwerdens‘ zu begründen - (Herskovits selbst belegt diese Lern- und Sozialisationsvorgänge mit dem Terminus ‚Enkulturation‘, möchte diesen Begriff jedoch weniger aus soziologischer, sondern vielmehr aus psychologischer Sicht verstanden wissen.³)

Muß also in jeder, in bezug auf interkulturelle Fragestellungen konzipierten empirischen Untersuchung von einer kulturellen Befangenheit (cultural bias) des Forschers ausgegangen werden, so sollten unsystematisch wirkende, kulturbedingte Einflüsse - den experimentellen Grundsätzen gemäß - in einer Versuchssituation dennoch so weit wie möglich ausklammert werden. Aus diesem Grund hatte man vor einigen Jahrzehnten auch die Entwicklung und

¹ vgl. W. Rudolph *Der kulturelle Relativismus*, 1968, S. 24f.

² M. H. Segall / D. T. Campbell / M. J. Herskovits *The influence of culture on visual perception*, 1966, S. 9f.

³ W. Rudolph stellt zum Herskovits'schen Enkulturationsbegriff das Folgende fest: „‘Enkulturation‘ ... soll die Anreicherung und Strukturierung der menschlichen Psyche, vor allem während des Aufwachsens des Individuums, durch Einflüsse der Kultur bezeichnen.“ Rudolph gibt auf dieser Grundlage eine psychologisch ausgerichtete Definition des ‚Kultur-Relativismus‘: „... der Mensch [ist] von Geburt an psychisch fundamental formenden Einflüssen seiner Kultur (durch Vermittlung bereits von den kulturellen Traditionen geprägter Menschen) ausgesetzt ... Dadurch werden seine Erfahrungen und Erkenntnisse derart kulturgeprägt, daß auch seine Erkenntnisfähigkeit weitgehend kulturell relativiert wird ...“ (W. Rudolph *Der kulturelle Relativismus*, 1968, S. 97f und 274, kursiv im Original).

Anwendung von sog. ‚culture-free‘- / ‚culture-reducing‘- bzw. ‚culture-leveling‘-Tests¹ erwogen - ein wünschenswertes Anliegen, das sich jedoch als illusorisches Unterfangen erwies.

Denn obwohl N. Frijda und G. Jahoda - um auf das Thema ‚Testkonstruktion‘ in der kulturvergleichenden Psychologie kurz einzugehen - im Jahr 1966 den Vorschlag unterbreitet hatten, „to construct tests equally unfamiliar [d.h. culture-free] to all“¹, sollten doch in gerade umgekehrter Weise, so ist als Einwand bei J. Wassmann zu lesen, der Untersuchungsgegenstand per se sowie die Testmethode und vor allem auch das Reizmaterial eine gewisse Bedeutung (und Vertrautheit) für den Probanden haben.²

... fehlt eine solche [Bedeutung], so können ... Reaktionen, Strategien und Prozesse gar nicht ausgelöst werden. Das fremde, d.h. nicht dem täglichen Leben zugehörige Material stimuliert oder aktualisiert das Verhalten in keiner Weise, vielmehr tritt das ein, was der Labov-Effekt bei VPn genannt wird: der Test wird nicht zu ‚ihrem Problem‘. Unter diesem Blickwinkel kann das verwendete Material die Leistung erheblich beeinflussen. ... Das Ziel ist also die Schaffung von ‚culture fair‘ [anstelle von culture-free] Tests, die keiner Gruppe einseitige Vorteile bringen und damit die Chancengleichheit wahren.³

Damit ein derartiges ‚culturally faires‘ Vorgehen nicht nur postuliert, sondern auch umgesetzt werden kann, hatte J. W. Berry 1969 ein Drei-Stufen-Modell zur schrittweisen methodischen Annäherung eines Forschers an die zu untersuchende Fremdkultur entworfen. Seine Zielsetzung war, ‚idiokulturelle‘ externe Denkweisen und Maßstäbe (von J. W. Berry mit dem Fachausdruck ‚imposed etic approach‘⁴ belegt) derart zu modifizieren, daß es gelänge, sich auf die in der zu untersuchenden Kultur inhärenten kognitiven Strukturen einzustellen, ohne die anfangs verwendeten ‚etischen‘ Kategorien gänzlich aufzugeben (ein Ansatz, den Berry selbst

¹ zum Stichwort ‚culture-free tests‘ schreibt L. Eckensberger: „Bei solchen Tests würde es sich um Verfahren handeln ‘... from which have been eliminated, as far as possible, all items depending upon experiences that are more commonly found in one culture than another. Such tests must eliminate language and the information or skills selectively employed in one culture more than in others‘.“ (L. Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, S. 47).

² vgl. J. Wassmann ‚Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen‘, 1988, S. 34.

³ ebd., S. 34 f; nicht kursiv im Original.

⁴ vgl. J. W. Berry ‚On cross-cultural comparability‘, 1969, S. 124f, wie auch J. Wassmann a.a.O. S. 32f.

als „derived etic approach“ bezeichnet hatte; um die doppelte Gültigkeit von Kategorien und Urteilkriterien sowohl im etic- als auch im emic-System zu verdeutlichen).

In Untersuchungen, die den Anspruch erheben, „culturally fair“ konzipiert zu sein, sollte nicht nur der Konstruktion des Testmaterials an sich eine gewisse Bedeutung zukommen. Damit kulturübergreifende Vergleichbarkeit von Meßergebnissen gewährleistet werden kann, muß vielmehr ein weiteres wichtiges Kriterium erfüllt sein: *Gleichwertigkeit (Äquivalenz)* in Hinblick auf sämtliche Items und Realisierungsstufen.

Dem Äquivalenz-Begriff kommt in der Diskussion um methodische Fragen der kulturvergleichenden Psychologie mithin eine zentrale Rolle zu; das Argument von Malinowski („... we are comparing incomparables“¹) kann hierdurch entkräftet und das kulturvergleichende Vorgehen legitimiert werden.

„Funktionale Äquivalenz“ und „konzeptuelle Äquivalenz“ - zwei der wichtigsten Ausprägungen von Äquivalenz - sollen in diesem Zusammenhang kurz erläutert werden:

- a) „Funktionale Äquivalenz“ liegt vor, wenn verschiedenartige Formen des Verhaltens bzw. des Handelns in unterschiedlichem Kulturzusammenhang dem Erfüllen von gleichartigen menschlichen Bedürfnissen dienen. Ist dieser Sachverhalt a priori auf natürliche Weise gegeben, gilt der anschließende interkulturelle Vergleich als intern valide. N. Frijda und G. Jahoda stellen hierzu fest: „... if similar activities have *different functions* in different societies, their parameters cannot be used for comparative purposes.“²
- b) „Konzeptuelle Äquivalenz“ sollte (und muß) auf jeder Etappe der Untersuchungsrealisation gewährleistet sein: zum einen als inhaltliche Gleichwertigkeit in Hinblick auf das zu untersuchende *Konstrukt* (Beispiele: Aggression, Motivation, Intelligenz) und seine Operationalisierung³ sowie zum anderen in bezug auf die verwendete Untersuchungsmethode und das Procedere während des Experiments. Berry und auch Wassmann postulieren daher 1. die Gleichartigkeit von Meßinstrumenten, 2. annähernd gleiche Testsituationen sowie 3. die Verwendung von bedeutungsgleichem Versuchs-

¹ Malinowski zit. nach L. Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, 1970, S. 11.

² N. Frijda/G. Jahoda zit. nach J. Wassmann „Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen ...“, 1988, S. 31, nicht kursiv im Original.

³ vgl. H. Helfrich „Methodologie kulturvergleichender psychologischer Forschung“ in: A. Thomas (Hrsg.) *Kulturvergleichende Psychologie*, 1993, S. 82.

material.¹

Auf den Vorgang der adäquaten Reizauswahl und -darbietung, der zumindest von der Idee her mit einer Aktivierung von annähernd gleichen kognitiven Bezugssystemen verbunden sein sollte, hatte bereits E. M.v. Hornbostel Wert gelegt. Er hatte angeraten, über das folgende Gegenbeispiel nachzudenken:

Europäer, die mit an Dreiklangsharmonie orientierter Musik aufwachsen, würden die sukzessive Darbietung der Notenfolge g - e - c als zerlegten Dreiklang auffassen. Für einen in seiner Kultur erzogenen Indianer, der nie Akkorde gehört hat, wäre dies einfach eine abfallende Tonfolge.²

Konzeptuelle Äquivalenz als Gütekriterium für eine gelungene Planung und Realisierung von kulturvergleichenden Untersuchungen ist in der Forschungspraxis dennoch selten zu erfüllen, vor allem dann, wenn ein Test sprachliche Komponenten enthält. War man deshalb in der ‚cross-cultural‘-Forschung bereits in den 60er Jahren darum bemüht, „Sprachbarrieren ... zu umgehen“³, indem sprachfreies Testmaterial (z.B. kulturtypische, vertraute Bilder) verwendet und auf verbale, Interpretationsschwierigkeiten verursachende Antworten gänzlich verzichtet wurde, so bleibt dennoch das Problem einer adäquaten Übersetzung von notwendigen Instruktionen und aufklärender Information bestehen.⁴

Neben der auf Konstrukte und Untersuchungsmethoden ausgerichteten Äquivalenz-Problematik sind in der kulturvergleichenden Psychologie auch *personenbezogene* ‚constraints‘ zu beachten, die über die gewohnten Überlegungen bei der Zusammenstellung homogener Stichproben hinausgehen. Denn mit dem Faktor ‚Kultur‘, der in der empirisch-kulturvergleichenden Forschung allgemein als *unabhängige* Variable betrachtet wird,⁵ sind veränderliche Größen konfundiert, die dem Probanden von vorneherein als sog. ‚assigned

¹ J. Wassmann „Methodische Probleme“, S. 33ff sowie J. W. Berry „On cross-cultural comparability“, S. 124f. Berry schreibt wörtlich: „Care should be taken to ensure that material used to elicit responses possesses similar meaning to individuals in differing cultures ...“.

² v. Hornbostel zit. nach M. Müller in „Kontinuität und Wandel des Kulturbegriffs in der kulturvergleichenden Psychologie“, 1992, S. 91.

³ L. Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, 1970, S. 40.

⁴ NB: Um die Zahl an Übersetzungsfehlern auf Instruktions- und Aufgabenbögen auf ein Minimum zu reduzieren, empfiehlt Eckensberger den Einsatz von zweisprachig aufgewachsenen Mitarbeitern. Sie sollten Informationsmaterial und verbale Anleitungen unabhängig voneinander hin- und rückübersetzen und Lesarten miteinander vergleichen.

⁵ vgl. z.B. E.D. Brown/L. Sechrest „Experiments in cross-cultural research“, S. 298 und S. 300 („In doing cross-cultural research culture becomes, in effect, an independent variable ...“ bzw. „... although culture itself can be viewed as an independent variable, it cannot be manipulated because individuals cannot be randomly assigned to a culture ...“).

variables' oder 'Organismus-Variablen'¹ zugeordnet sind und experimentell nicht variiert werden können.

Zu dieser Art von 'assigned variables' werden die 'formale Schulbildung', der 'europäische Kontakt' und die Variable 'Ökologie' gerechnet.² Folgt man den Ausführungen von J. Wassmann, so ist es unter kulturvergleichenden Psychologen umstritten, ob die Variable 'Schul-besuch' überhaupt einen signifikanten Einfluß auf das Testresultat hat. Der Umgang mit europäischen Kulturgütern hätte in jedem Fall einen 'verwestlichenden' Effekt und würde zu einer - unter kulturvergleichendem Aspekt weniger erwünschten - Leistungssteigerung im kognitiv-analytischen Bereich führen. Oftmals sei auch die notwendige Anpassung des Individuums an geographische und klimatische Umweltbedingungen Ursache für außerordentliche perzeptorische oder kognitive Fähigkeiten (z.B. visueller oder räumlich-orientierender Art).

Zur Illustration des Faches 'Kulturvergleichende Psychologie' sollen nachfolgend einige Beispiele gegeben werden. Eine große Anzahl an Untersuchungen ist speziell zur Perzeption und Apperzeption von *visuellen* Eindrücken entstanden.

In sämtlichen kulturvergleichenden Studien war das sog. 'nature-nurture-Problem' die zentrale, experimentell zu prüfende Fragestellung, die Frage also nach dem möglichen Verhältnis zwischen angeborenen Fähig- und Fertigkeiten auf der einen und dem Einfluß von Lernprozessen und Erfahrung auf der anderen Seite (bezeichnet auch als 'Nativismus-Empirismus Kontroverse'³).

Zu den untersuchten Forschungsfeldern gehören insbesondere a) die Tiefenwahrnehmung bei Photographien und Zeichnungen ('pictorial depth perception'), b) die Wahrnehmung und Klassifikation von Farbreizen, c) geometrisch-optische Täuschungen sowie d) das sog.

¹L Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, S. 79.

²vgl. J. Wassmann 'Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen', 1988, S. 44ff.

³A. Thomas/H. Helfrich 'Wahrnehmungspsychologische Aspekte im Kulturvergleich' in: *Kulturvergleichende Psychologie* (Hrsg. A. Thomas), 1993, Kap. 5, S. 147.

„Konstanzprinzip“ aus der Gestaltpsychologie, welches perzeptorische Invarianz in bezug auf Größe und Form von Gegenständen trotz Veränderung der „Darbietungsbedingungen (Entfernung, Lage)“¹ zum Inhalt hat.

Themenbereich a)

W. Hudson hatte in Südafrika anhand von Untersuchungen mit dem sog. Thematischen Apperzeptions Test (TAT) erstmals gruppenspezifische, kulturbedingte Leistungsunterschiede in bezug auf *Tiefenwahrnehmung* bei Zeichnungen und Photographien festgestellt (1960). Ursache für die Leistungsunterschiede war das Unvermögen von Bantu-Kindern und - Erwachsenen aus ländlichen Regionen, zweidimensionale Foto- und Bild-Vorlagen als Abbild einer dreidimensionalen Wirklichkeit erkennen zu können (Motivkombination jeweils: Jäger, Antilope, Elefant, Schirmakazie). Da südafrikanische Kinder *europäischer* Herkunft in bezug auf die Präsentation des Hudson'schen Bildmaterials erheblich bessere Resultate nach Abschluß der Primarstufe als vor ihrer Einschulung zeigten, ist im Bereich der Tiefenwahrnehmung vornehmlich von einem Kausalzusammenhang zwischen Leistung und Schulbildung und damit von einer erlernten und keiner angeborenen Fähigkeit auszugehen.

Themenbereich b)

Kulturvergleichende Studien zur Wahrnehmung, Identifikation und Wiedererkennung von *Farbreizen* wurden vielfach mit dem linguistischen Forschungsbereich kombiniert, um die Wirkung des Vermittlungsfaktors „Sprache“ auf kognitive Vorgänge untersuchen zu können.^{2,3} Interkulturell durchgeführte Testreihen von verschiedenen Wissenschaftlern zur Korrelation zwischen dem Sinneseindruck, dem Farbvokabular und der Gedächtnisleistung haben zu vielfältigen, jedoch recht offenkundigen Ergebnissen geführt, von denen nur zwei genannt werden sollen:

¹ P. R. Hofstätter Fischer-Lexikon Bd. 6 *Psychologie*, Stichwort „Gestalt- und Ganzheitspsychologie“, S. 164.

² A. Thomas/H. Helfrich „Wahrnehmungspsychologische Aspekte im Kulturvergleich“ in *Kulturvergleichende Psychologie* (Hrsg. A. Thomas), Kap. 5, S. 156.

³ Die bekannten Lehrsätze von E. Sapir und B. L. Whorf laufen darauf hinaus, daß die Sprache per se das Denken und die Weltsicht einer Sprachgruppe beeinflusst oder gar determiniert; sie sollen aus Gründen der Übersichtlichkeit einstweilen nicht weiter erläutert werden.

1. Werden Farbeindrücke zusätzlich zur wahrnehmungsmäßigen Klassifizierung über die sprachliche Ebene kodiert, so fördert „die Versprachlichung des Sinneseindrucks dessen Behalten.“¹
2. Sind zwei Farbreize an einer „Benennungsgrenze“ (z.B. Blau-Grün-Grenze) infolge einer objektiv geringen Distanz auf dem Wellenlängen-Kontinuum sensorisch schwer voneinander zu unterscheiden, wird der Farb-Begriff als zusätzliches Kriterium zur Unterscheidung herangezogen.²

Forschungsfeld c)

Wahrnehmungsurteile von Probanden aus verschiedenen Ethnien wurden in Hinblick auf das Phänomen der *geometrisch-optischen Täuschungen* verglichen. Als Reizmaterial wurden mehrdeutige Figurenmuster vorgelegt, die in der westlichen Welt entwickelt worden waren (Beispiele: „Sander“sches Parallelogramm“, die sog. „Müller-Lyer“-sche Pfeiltäuschung“ oder die an die Skizze einer Eisenbahnschiene erinnernde sog. „Ponzo-Täuschung“). Segall, Campbell und Herskovits hatten in ihrer kulturvergleichenden Studie von 1966 zeigen können, daß Versuchsteilnehmer aus Industrienationen, die in einer sog. „carpentered world“ leben und im Alltag mit rechtwinkligen Designs (Räumen, Gegenständen) konfrontiert werden, anderen geometrisch-optischen Illusionen als Menschen aus nicht-zivilisierten, „natürlichen“ Lebenswelten unterliegen:³ In dem von Segall et al. durchgeführten Wahrnehmungsexperiment hatten eben diese aus durchkonstruierten, von Architektur geprägten Lebensbereichen stammenden Probanden die Tendenz, die horizontale Linie der Müller-Lyer-Figur in ihrer Länge zu über- bzw. zu unterschätzen.

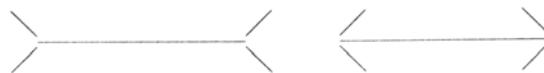


Abb.45. Müller-Lyer-Täuschung (Thomas, 1993, S. 148).

¹ A. Thomas/H. Helfrich „Wahrnehmungspsychologische Aspekte ...“, S. 160.

² ebd., S. 168 f.

³ ebd., S. 147f.

Jede Untersuchung zu diesem Themenbereich ging von der Annahme aus, daß die Verarbeitung visueller Informationen ausschließlich auf verschiedenen *ökologischen* Bedingungen und nicht auf angeborenen kognitiven Mechanismen beruhe. Lernprozesse, die der durch die Präsentation der Müller-Lyer-Figur ausgelösten Wahrnehmungstäuschung vorausgegangen sind, sollen in der frühen Kindheit stattfinden und spätestens mit 6 Jahren abgeschlossen sein.¹

Themengebiet d)

Zivilisationseinflüsse hatten sich auch in Hinblick auf zu testende ‚*Wahrnehmungskonstanz*‘ negativ ausgewirkt: So war eine Kontrollgruppe aus Großbritannien - im Unterschied zu unausgebildeten erwachsenen Probanden aus Westafrika und der Republik Malawi - nicht in der Lage, mit Distanzen (Raumabständen) zuverlässig umzugehen bzw. Größe und Form von Gegenständen auch bei großen Entfernungsunterschieden präzise und unverfälscht zu beschreiben.² Das Resultat ist in der Hauptsache auf ‚Umwelt- und Lebensbedingungen‘, d.h. auf den ‚nurture‘-Aspekt zurückzuführen.

In sämtlichen kulturvergleichenden Studien zu Vorgängen der Perzeption konnte somit der ‚Einfluß kultureller [und ökologischer] Faktoren auf die Wahrnehmung (und noch mehr die kulturell vermittelte Apperzeption der Gegenstände)‘³, d.h. das kulturelle Überformen von angeborenen oder ererbten Fähigkeiten nachgewiesen werden.

Ein weiteres grundlegendes Thema der kulturvergleichenden und musikethnologischen Forschung stellt die sog. *Universalienfrage* dar.

Hierbei ist in bezug auf den Gebrauch von Fachtermini darauf zu achten, daß die Dichotomie ‚universal/kulturspezifisch‘ auf der einen Seite und die Begriffspaare ‚Anlage/Umwelt‘ bzw. ‚innate/overlearned‘ oder ‚nature/nurture‘ auf der anderen Seite nicht synonym verwendet werden.⁴ Obwohl die Prämisse zugrundegelegt werden kann, daß ‚*biological factors*‘ ‘pre-

¹ A. Thomas / H. Helfrich ‚Wahrnehmungspsychologische Aspekte ...‘, S. 151.

² vgl. A. D. Pick/H. L. Pick ‚Culture and perception‘, 1978, S. 30f.

³ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, S. 28.

⁴ NB: Begriffe, die ohnehin hauptsächlich im Zusammenhang mit entwicklungspsychologischen Aspekten eingesetzt werden sollten; dazu z.B. G. Trommsdorff ‚Entwicklung im Kulturvergleich‘ Kap. 4 in: *Kulturvergleichende Psychologie* (Hrsg. A. Thomas), S. 112.

program‘ *universal* elements in perception and in language“¹, befindet sich die in der Musikethnologie, Linguistik, Psychologie und Anthropologie gestellte Frage nach kulturübergreifenden Gemeinsamkeiten (Universalien) doch gewissermaßen auf einer ‚Meta-Ebene‘, auf der grundsätzlich von einer Vermengung der Einflüsse ‚nature‘ (kognitiv-biologische Grundausstattung) und ‚nurture‘ (kulturspezifische Lernerfahrung) ausgegangen werden kann und eine Ent-Konfundierung beider Variablen problematisch ist. Castellano et al. stellen hierzu fest:²

Cross-cultural research in cognition is often motivated by the attempt to classify phenomena as either universal or culturally relative. In few cases can this distinction be established unequivocally, either because of the complex intertwining of innate factors with cognitive structures acquired through experience or for lack of a rigorous methodology for cross-cultural research.

Auch die vorliegende Dissertation ist ursprünglich aus dem gedanklichen Impuls heraus entstanden, Aufschlüsse über kulturübergreifende, *universale* Vorgänge bei der kognitiven Verarbeitung von verschieden gebauten Tonleitern mit Hilfe eines cross-cultural-Designs zu erhalten. De facto wurde jedoch nur eine Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungshypothese aufgestellt. Vorsichtig gezogene Konklusionen in Hinblick auf die Universalienfrage finden sich lediglich im Kapitel 7 ‚Resümee und abschließende Diskussion‘ (S. 287ff).

Zum Universalien-Thema per se sollen nachstehend einige Beispiele aufgelistet und prinzipielle Überlegungen wiedergegeben werden:

Das Adjektiv ‚universal‘ wird von A. Schneider auf folgende Weise umschrieben: „ ‚universal‘ wäre ... eine Eigenschaft verbreitet, die bei allen Elementen einer Klasse vorkommt; findet sich die Eigenschaft bei nahezu allen Elementen einer Klasse, wird oft der Ausdruck *near universal* gebraucht.“ ... Bei Universalien gehe es keineswegs nur um das Abzählen einer Menge von Objekten nach Merkmalen im Rahmen der Klassifikation, vielmehr um kategoriale Bestimmungen, Konzepte und Begriffe von allgemeiner Gültigkeit. Schneider stellt weiterhin

¹ W. J. Lonner „The search for psychological universals“, S. 159 (nicht kursiv im Original); Ähnliches zu diesem Kausalbezug ist auch im Beitrag von J. Baily zu lesen: „Ethnomusicologists have realized that the closer they come to specifying universals in music, the more they are dealing with phenomena rooted in the psychophysiological nature of the human being.“ („Music performance, motor structure, and cognitive models“ in: *European Studies in Ethnomusicology*, S. 143f).

² Castellano et al. „Tonal hierarchies in the music of North India“ *J. Exp. Psychol.* 113, 1984, S. 407.

fest, daß der Terminus ‚Universalie‘ „in etlichen Disziplinen heute lediglich im Sinne empirisch auffindbarer und statistisch relevanter Regelmäßigkeiten [d.h. ohne Rückbezug auf den ursprünglich philosophischen Zusammenhang] gebraucht“ wird.¹

In der Musik ist die Tatsache des ‚Musikmachens‘ bzw. ‚Musikhörens‘ an sich als einzige echte bzw. absolute, in *sämtlichen* Gemeinschaften vorzufindende Universalie zu nennen.² Daneben gibt es eine Reihe von ‚near universals‘ (‚Nahezu‘-Universalien), die a) zumeist auf struktureller Ebene der Musik („on musical content“³) zu finden sind, also das Klangmaterial selbst betreffen, sich darüber hinaus aber auch b) auf kognitive Vorgänge bei der Verarbeitung von Tonreizen beziehen.

- a) Beispiele für musikalische ‚Nahezu‘-Universalien der inhaltlich-strukturellen Art sind: 1. Das Kern- und Rahmenintervall ‚Oktave‘, 2. die Unterteilung des Oktavabstandes in diskrete Tonstufen, 3. fünf bis sieben konstitutive Töne in einer Tonleiter sowie 4. die Existenz von gewichtigen Bezugstönen (reference pitches) innerhalb einer Skala oder einem gesamten Kompositionsabschnitt (Tonika, Dominante, ferner auch ein Bordunton oder eine Bordunquint als melodiebegleitender stetiger Klang).⁴
- b) Der Standpunkt der Kognitionspsychologie in bezug auf die Universalienfrage wird vor allem durch Dane L. Harwood vertreten. Seine Überlegungen lauten:

My argument has been that universals in music are not to be found in specific musical structure or function. Rather, those which we can identify are examples of basic human cognitive and social processes at work in construing and adapting to the real world. I have suggested a contemporary psychological paradigm - information processing - which seems to facilitate studying the processes of perceiving, understanding, and performing music.⁵

Ausgangspunkt für die Suche nach Universalien ist, den Ausführungen von Harwood zufolge, also nicht das Klangmaterial an sich, sondern das Probanden-Verhalten dem Klangmaterial gegenüber. Das Augenmerk wird damit auf Lernprozesse sowie auf Vorgänge der Informati-

¹ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, 1997, S. 45; ausführlich dazu das gesamte Kap. I.5. „Zur Frage sog. *Universalien* und zu Grundlagen von Sprechen und Hören“, S. 45ff.

² vgl. F. Födermayr „Universalien der Musik“, S. 92.

³ D. L. Harwood „Contributions from psychology to musical universals“, S. 51.

⁴ Zu den Punkten 1. bis 4. vgl. J. A. Sloboda *The musical mind*, S. 253f und F. Födermayr „Universalien der Musik“, S. 94.

⁵ in: „Universals in music: a perspective from cognitive psychology“, 1976, S. 531.

onsverarbeitung (Wahrnehmen, Kodieren, categorical perception, Erinnern) gelenkt.¹

3.2. Beiträge aus dem Bereich ‚experimental ethnomusicology‘ - Untersuchungsansätze, Versuchsergebnisse

Experimentelle Untersuchungen, die von Musikethnologen und Kognitionspsychologen zu kulturvergleichenden musikalischen Fragestellungen - speziell zur Wahrnehmung von verschieden strukturiertem Tonleiter- und Melodiematerial - durchgeführt worden sind, basieren im wesentlichen auf zwei Methoden bzw. methodischen Überlegungen:

1. auf der von C. Krumhansl und R. Shepard im Jahr 1979 entwickelten sog. ‚probe-tone‘-Methode (Beiträge von Castellano et al. und Kessler et al.)² sowie
2. auf dem entwicklungspsychologischen Aspekt (vor, während und nach der musikalischen Sozialisation (Enkulturation)) (Beiträge von Lynch/Eilers sowie Trehub et al.)³

Zu beiden methodischen Ansätzen werden nachfolgend Konzeptionen, Versuchsdesigns und -ergebnisse dargestellt.

¹ L. B. Meyer hatte die kognitionspsychologische Position innerhalb der Universalienforschung bereits im Jahr 1960 eingenommen. Er schreibt: „What remains constant are not scales, modes, harmonic progressions or formal procedures, but the psychology of human mental processes - the way in which the mind, operating within the context of a culturally established grammar, selects and organizes and evaluates the musical materials presented to it.“ (in: L. B. Meyer „Universalism and relativism in the study of ethnic music“, 1960, S. 52).

² Die Titel der Aufsätze im einzelnen: M. A. Castellano et al. „Tonal hierarchies in the music of North India“, *J. Exp. Psychol.* 113, 1984, S. 394-412; Ed. J. Kessler et al. „Tonal schemata in the perception of music in Bali and in the West“, *Music Perception* 2, 1984, S. 131-165.

³ Titel der Publikationen: M. P. Lynch et al. „Innateness, experience, and music perception“ *Psychological Science* 1, 1990, S. 272-276; M. P. Lynch, R. E. Eilers „Children’s perception of native and nonnative musical scales“ *Music Perception* 9, 1991, S. 121-132 sowie S. E. Trehub et al. „Infants’ and adults’ perception of scale structure“ *J. Exp. Psychol.: Human Perception and Performance* 25, 1999, S. 965-975; eine Kurzfassung dieses Beitrags findet sich in: N. Wallin, B. Merker, S. Brown (Hrsg.) *The origins of music*, 2000, Kap. 23, S. 433-435.

3.2.1. Interkulturelle Anwendungen der ‚probe-tone‘-Methode

Die von C. Krumhansl und R. Shepard entwickelte ‚probe-tone‘-Methode besteht ganz allgemein darin, den Grad der ‚Stimmigkeit‘ (Zugehörigkeit) von Einzel-Tönen einer *Materialtonleiter* zu einem zuvor präsentierten klanglichen Kontext (Melodie, Dreiklang, Kadenz, auf- oder absteigende Skala) von Probanden mit Hilfe einer Rating-Skala bewerten zu lassen.¹

Wurde das ‚probe-tone‘-Verfahren zunächst nur für europäische, diatonisch gehaltene Musikbeispiele genutzt, um hierarchische Strukturen, d.h. tonale Bezüge von Einzeltönen oder Akkorden auf den ‚Tonika‘-Zentralton hin, aufzuzeigen und damit den empirischen Nachweis für den musiktheoretischen Begriff ‚Tonalität‘ zu liefern, so kam diese Methode 1984 erstmals auch im Bereich der cross-cultural-Forschung zur Anwendung. Zielsetzung war, aus dem probe-tone-Antwortverhalten von inländischen bzw. ausländischen Versuchsteilnehmern Aufschlüsse über kulturbedingte Hör-Erfahrungen zu erhalten; zwei Gruppen von Wissenschaftlern - um Ed. J. Kessler bzw. um M. A. Castellano - hatten hierzu bi-kulturelle probe-tone-Studien durchgeführt. Dargeboten wurden Tonbeispiele aus Nordindien bzw. Indonesien, denen unterschiedliche Tonleitermodelle (that-Skalen resp. slendro- und pelog-Skalen) zugrunde lagen.

M. A. Castellano et al. hatten als Klangmaterial zehn ragas der klassischen nordindischen Musik auf der Grundlage von acht verschiedenen strukturierten Modalleitern (thats) gewählt. Die ragas wurden in Form von kurzen Themen präsentiert;² jeder Melodiefigur schlossen sich zwölf

¹ ausführlich dazu: C. Krumhansl *Cognitive foundations of musical pitch*, 1990; A. Schneider beschreibt die Methode wie folgt: „Beim erwähnten *probe tone*-Verfahren geben Vpn explizit Ähnlichkeitsurteile ab, indem sie einschätzen, wie gut der *probe tone* zum vorhergehenden, einer vorgegebenen Skala, einem Akkord usw. paßt. Keineswegs zufällig verzeichnen dann Primen und Oktaven die höchsten Ratings, eben weil Bezugston und *probe tone* einander höchst ‚ähnlich‘ ... sind.“ (A. Schneider, A. Beurmann, ‚Tonhöhe - Intervall - Distanz‘, 1994, S. 135, kursiv im Original).

² 16 Vpn - acht amerikanische und acht indische Studenten mit musikalischer Vorbildung - nahmen am Versuch teil. Thementöne wurden in der auf einem Synthesizer eingestellten Klangfarbe des indischen Saiteninstrumentes ‚Sarod‘ dargeboten, sie setzten sich aus sieben Harmonischen zusammen. Vor jeder Themenpräsentation wurde der sog. *sthayi*-Abschnitt eines auskomponierten Instrumentalstücks zur Einstimmung auf jedes raga-Modell zweifach vorgespielt und - wie das dargebotene raga-Thema selbst - durch eine hinzugefügte Bordunquint (Sa-Pa) klanglich angereichert.

Durchgänge (trials) an, in denen jeweils einer der zwölf chromatischen Skalentöne für die Dauer von einer Sekunde eingespielt wurde und auf einer siebenstufigen Ratingskala in Hinblick auf Klangkontext-Eignung zu bewerten war.

Versuchsergebnisse:

1. Indische und westliche Versuchspersonen zeigten in ihren Rating-Ergebnissen keine signifikanten kulturgruppen-bedingten Unterschiede.
2. Sämtliche Probanden hatten dem Zentralton Sa (C) die höchste Punktzahl auf der Rating-Skala zuerteilt, gefolgt vom that-Ton Pa (G) sowie dem vadi- und dem samvadi-Ton¹. Probe-tones, die in der für das jeweilige raga-Thema eigenen Modalleiter (that) enthalten waren, wurden im Vergleich zu ‚non-that-probe-tones‘ als kontextgeeigneter eingestuft.
3. Indische Versuchsteilnehmer hatten sich in ihren probe-tone-Ratings vorwiegend vom Kriterium der ‚that-Zugehörigkeit‘ leiten lassen und die Struktur der dem dargebotenen raga-Thema zugrunde liegenden Modalskala erkannt; Probanden aus Nordamerika, die meistens keine Hörerfahrung in bezug auf raga-Melodiefiguren besaßen, zogen als Orientierungshilfe vor allem den musikalischen Parameter ‚Ton-Dauer‘ heran.
4. Die Analyse der Rating-Profile gab keinen Anhaltspunkt dafür, daß raga-Melodieformen von *westlichen* Versuchsteilnehmern im Sinne des internalisierten Dur-Moll-Skalensystems ‚zurechtgehört‘² werden.

Vergleichbare Aufgabenstellungen - a) Untersuchung der probe-tone-Antworten von ‚western listeners‘ bei Vorgabe von außereuropäischen Tonbeispielen sowie b) das Auffinden von möglichen Rangfolgen und tonalen Funktionen innerhalb eines nicht-diatonischen Bezugssystems - haben auch das Team um *Edward J. Kessler* dazu veranlaßt, zeitgleich zum Castellano-Beitrag eine weitere cross-cultural-Untersuchung mit der probe-tone-Technik durchzuführen.

¹ A. Danielou schreibt: „In jedem *Raga* gibt es ... einen von der Tonika verschiedenen Zentralton, obwohl er bisweilen mit dieser auch zusammenfallen kann, und - auf Grund der tetrachordischen Struktur der Tonleitern - einen dem ersten Ton entsprechenden zweiten Ton im zweiten oder oberen Tetrachord. Die Zentraltöne heißen *Vadi* (sprechend, tönend) und *Samvadi* (mit-sprechend, mit-tönend) (*Einführung in die indische Musik*, S. 52f, kursiv im Original); dazu auch Jairazbhoy, S. 42f: „In every rag two notes, in theory, are given greater importance than the others. These notes are called *vadi* - sonant, and *samvadi* - consonant, ... definitions of *vadi* and *samvadi* appear to relate primarily to frequency of occurrence ...“ (kursiv im Original).

² Der Begriff ‚Zurechthören‘ wird auf S. 171, Fußnote 1 definiert.

Am Experiment nahmen 21 Stanford-Studenten mit musikalischen Vorkenntnissen teil, ferner 25 Musikstudenten des balinesischen Konservatoriums für Gamelanmusik und Schattenspiel (genannt: „Kokar listeners“) sowie 27 ländliche balinesische Urbewohner (sog. „Keker listeners“).¹ Das Stimulusmaterial bestand aus sieben neu erdachten Melodien zu je 16 Tönen von gleicher Dauer, die auf natürlichen Instrumenten (Klavier, Gangsa und Gender Wayang) eingespielt und via Tonbandtechnik gespeichert worden waren. Grundlage hierfür bildeten a) die heptatonischen Gebrauchstonleitern C-Dur und c-Moll, b) drei pentatonische Gebrauchstonleitern des per se heptatonischen Modus „pelog“, die sich nicht nur in der Auswahl der Einzeltöne, sondern auch in der Lage des sog. „Gongtons“ (Zentraltons) voneinander unterschieden (Abb.46). Weiterhin c) zwei Arten der pentatonischen, durch nahezu äquidistante Tonstufen gekennzeichneten Materialtonleiter „slendro“, für die ebenfalls verschiedene Gongton-Positionierungen charakteristisch sind.

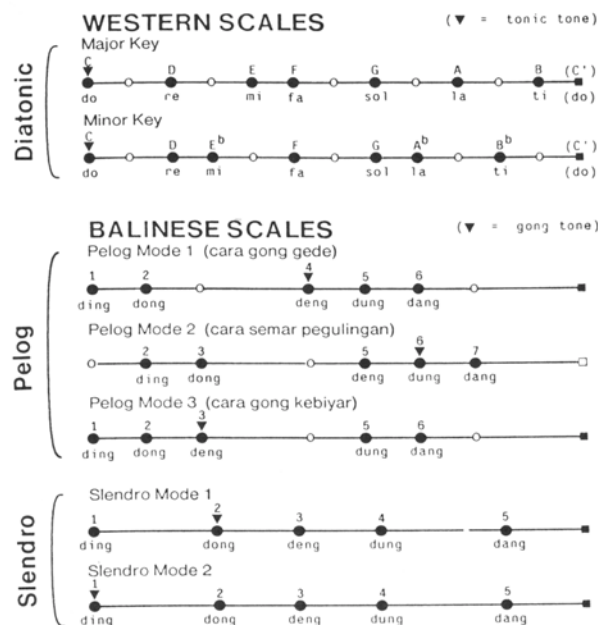


Abb.46. Fundus an Tonleitern, der in der Studie von Kessler et al. zum Bilden von Melodien verwendet wurde: Zwei diatonische Skalen (C-Dur, c-Moll), drei Formen der per se heptatonischen Materialtonleiter „pelog“ sowie zwei Formen der per se pentatonischen Materialtonleiter „slendro“ (Kessler et al., 1984, S. 139).

¹ Ed. J. Kessler et al. „Tonal schemata in the perception of music ...“ *Music Perception* 2, 1984, S. 136.

Jeder 16-tönigen, auf einer der drei Tonleiterformen (Dur/Moll, pelog oder slendro) basierenden Melodie schloß sich ein vollständiger Satz an ‚probe tones‘ an (zwölf chromatische Töne resp. sieben pelog- oder fünf slendro-Töne), deren Kontext-Eignung wiederum anhand einer fünfstufigen Rating-Skala zu beurteilen war. Hörstrategien, die ‚western listeners‘, ‚Kokar listeners‘ und ‚Keker listeners‘ bei ihren probe-tone-Einschätzungen angewendet hatten, sind mit Hilfe von Skalierungsverfahren, Korrelations- und Regressionsmethoden statistisch ausgewertet worden. Ferner wurden Rating-Diagramme erstellt, in denen die Angaben von Individuen aus separat für jedes Tonbeispiel gebildeten ‚rating profiles‘ gruppenweise zu arithmetischen Mittelwerten zusammengefaßt waren.

Versuchsergebnisse:

1. Probanden mit einer formalen musikalischen Ausbildung (‚Kokar listeners‘ und Stanford-Studenten) zeigten ein ähnliches Antwortverhalten. Interindividuelle Abweichungen in bezug auf Hörstrategien und die Wahl der Rating-Stufe waren gering, wenn es sich um probe-tone-Bewertungen innerhalb des jeweils *vertrauten* Tonsystems handelte. Ein weitaus größeres Ausmaß der Streuung ließ sich bei den probe-tone-Einschätzungen der musikalisch ungeschulten Keker-Urbewohner feststellen.
2. Westliche Versuchsteilnehmer und Kokar listeners hatten probe-tone-Ratings bei *dur*-tonalen Musikbeispielen nach den Kriterien ‚dur-tonale Zugehörigkeit‘, ‚Anzahl der Tonwiederholungen innerhalb des Melodiemusters‘ sowie ‚hierarchische Rangstufe innerhalb des dur-tonalen Bezugssystems‘ vorgenommen.
3. Für probe-tone-Urteile im Kontext ‚*slendro*‘ wurden von sämtlichen balinesischen Probanden (Kokar und Keker listeners) die Hörstrategien ‚abnehmende (deszendierende) Ton-höhe‘ und ‚hierarchische Wertigkeit in bezug auf den Gongton‘ genutzt; westliche Versuchspersonen hatten sich statt dessen vorwiegend am Kriterium ‚Ton-Wiederholung innerhalb des Melodiezusammenhangs‘ orientiert.
4. Probandengruppen, bei denen eine Vertrautheit mit dem zugrunde liegenden Tonsystem vorausgesetzt werden konnte, machten somit in der Hauptsache von den Hörstrategien ‚Skalenzugehörigkeit‘ und ‚tonale Bezogenheit auf den Zentralton‘ Gebrauch; vice versa hatten vor allem westliche Versuchsteilnehmer Schwierigkeiten, tonale Rangordnungen bzw. hierarchische Gegebenheiten in dem für sie *unbekannten*, durch äquidistante Tonstufen gekennzeichneten slendro-Zusammenhang zu erkennen.

3.2.2. Experimentelle Beiträge zum Aspekt ‚musikalische Enkulturation‘: Wie wirkt sich die in den verschiedenen Entwicklungsphasen gesammelte kulturspezifische Erfahrung auf die musikalische Wahrnehmung des Menschen aus?

Entwicklungspsychologen von der Universität Miami (*M. P. Lynch, R. E. Eilers und Mitarbeiter*) haben in zwei Hörexperimenten die Unterscheidungsleistung von Probanden verschiedener Altersstufen in bezug auf verstimmte bzw. unverstimmte Melodietöne untersucht.

Zielsetzung war es, den möglichen Einfluß der kulturellen Prägung auf die Wahrnehmung von vertrautem oder kulturfremdem Klangmaterial zu ermitteln.

50 westliche Probanden nahmen an der ersten Studie von 1990 teil - 20 Säuglinge (sechs Monate alt) sowie 30 erwachsene Amerikaner, die nach ihren musikalischen Vorkenntnissen der Gruppe der ‚unausgebildeten Laien‘, der ‚Amateurmusiker‘ oder ‚Berufsmusiker‘ zugeordnet wurden. Das Testmaterial setzte sich aus synthetisch generierten Siebenton-Melodien¹ zusammen, die sich über der europäischen Dur- oder Molltonleiter² resp. der indonesischen heptatonischen pelog-Skala als struktureller Basis aufbauten.

Intonationsänderungen innerhalb einer Melodie, die von den Probanden ‚geortet‘ werden sollten, bezogen sich ausschließlich auf den fünften Ton. Säuglinge hatten eine Tonhöhenverschiebung von 2,8% wahrzunehmen und mit einer Drehbewegung des Kopfes darauf hinzuweisen. Erwachsene sollten eine Frequenzzunahme um 0,4% bzw. 1,6% heraushören und dieses per Handzeichen aufzeigen.³

V Versuchsergebnisse:

1. Säuglinge hatten auf eine Änderung des fünften Melodietons überzufällig reagiert; korrektes Erkennen erfolgte hierbei *unabhängig* von der zugrunde liegenden Dur-/Moll- oder pelog-Skalenstruktur. Diskriminationsleistungen werden von sechs-Monate-alten Kindern offensichtlich ohne Zuhilfenahme des ‚Vertrautheits‘-Kriteriums erbracht.

¹ Ambitus: Quint; Dauer eines Einzeltons: 300 msec, dessen Bestandteile: Grundschiwung und erste Oberschiwung.

² Im Beitrag werden keine näheren Angaben zur *Art* der Molltonleiter (rein, harmonisch oder melodisch) gemacht.

³ Vor dem Hauptversuch hatten Säuglings-Probanden eine Testphase zu absolvieren, welche darin bestand, einen Frequenzanstieg von 5% in bezug auf den fünften Ton der pelog-Melodie oder den fünften Ton des dur-tonal gehaltenen Themas zu entdecken.

Lynch et al. kommen deshalb zu dem Schluß, daß „infants may be *born with an equipotentiality for the perception of scales from a variety of cultures ... infants*“ similar performance across Western and Javanese scales suggests that Western scale processing is not inherently easier than non-Western processing.“¹

2. Erwachsene Versuchsteilnehmer zeigten ein anderes Hörverhalten. Sie hatten Tonhöhenvarianten in dur- oder moll-tonal gehaltenem Kontext häufiger als solche bei außereuropäischer Skalengrundlage (pelog) erkannt. Musikalisch vorgebildete Probanden erzielten zudem signifikant bessere Ergebnisse als musikalisch ungeschulte Versuchspersonen.
3. Musikalische Sozialisation (Enkulturation) wird von M. P. Lynch und Mitarbeitern daher als eine sich mental nach hinreichender Hörerfahrung einstellende Ausformung von skalenspezifischen Schablonen bzw. Schemata interpretiert. Aktuell dargebotene Tonleiterformen, deren Struktur sich bei einem internen Vergleichsvorgang als übereinstimmend mit den zuvor internalisierten Skalenmodellen herausstellte („Matching“), galten somit als „vertraut“ und wurden von den Erwachsenen präferiert. Mentale Wahrnehmungsschemata (cognitive frameworks) dieser Art sind im Säuglingsalter noch unausgeprägt. Das Verhalten der Kleinstkinder weist somit auf eine offenbar empfundene kulturübergreifende „Gleich-rangigkeit“ (Gleichgestelltheit) der präsentierten Tonleiterarten hin.²

G. Trommsdorff stellt zum Verhalten im Säuglings- und frühen Kindesalter induktiv-verallgemeinernd fest:

Offenbar bestehen universell biologisch verankerte Entwicklungsprozesse, die in den ersten Lebenswochen relativ gleich sind, dann aber sehr bald inter-individuell und über Kulturen hinweg variieren.³ ... die frühe Kindheit [ist] aus psycho-biologischer Perspektive vor allem interessant, weil in dieser Periode eigentlich Universalien der Entwicklung nachweisbar sein müßten, die später durch kulturspezifische Lernerfahrungen überformt werden. Tatsächlich stimmen die meisten kulturvergleichenden Studien darin überein, daß in den ersten 12 bis 18 Monaten die geringste Varianz in der Entwicklung zu beobachten ist.⁴

¹ Lynch et al. „Innateness, experience, and music perception“, S. 275, nicht kursiv im Original.

² Im ursprünglichen Wortlaut: „... several researchers ... have suggested that musical acculturation results in the development of scale-specific schemata. Western mistunings may have been easier to notice than Javanese mistunings because the Western scale intervals matched those of an internalized framework for Western intervals ... the infants had not yet acquired knowledge of native musical scales in the form of perceptual schemata.“ (ebd., S. 276).

³ G. Trommsdorff „Entwicklung im Kulturvergleich“ in: *Kulturvergleichende Psychologie* (Hrsg. A. Thomas), 1993, Kap. 4, S. 125.

⁴ ebd., S. 109.

In ihrer zweiten Untersuchung (1991) behielten *Lynch und Eilers* die Module ‚Versuchsaufbau‘ und ‚Stimulusmaterial‘ aus Hörexperiment 1 nahezu unverändert bei. Lediglich der Baustein ‚Versuchspersonen‘ wurde ausgetauscht und durch zwanzig US-amerikanische Kinder (zehn bis dreizehn Jahre alt) ersetzt, die zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung eine musikalische Ausbildung von mindestens zwei Jahren gehabt hatten bzw. keinerlei musikalische Vorkenntnisse besaßen (in Kurzform nachfolgend als ‚Musiker‘ bzw. ‚Nicht-Musiker‘ bezeichnet).

Versuchsergebnisse:

1. Intonationsänderungen des fünften pelog-Melodietons wurden von beiden Probandengruppen nur zufallsmäßig erkannt; ‚Musiker‘ zeigten gegenüber ‚Nicht-Musikern‘ keine signifikant besseren Resultate.
2. Anders verhielt es sich mit Tonfolgen, die auf dur- oder moll-tonaler Grundlage erstellt worden waren. Musikalisch geschulte Kinder wiesen signifikant höhere Testergebnisse als musikalisch unausgebildete Mädchen und Jungen auf.
3. Informell erfolgende musikalische Enkulturation (d.h. das Hineinwachsen (Heranwachsen) eines Kindes in seine(r) kulturelle(n) Umwelt ohne eine direkte Einflußnahme durch Musikerzieher) hatte bei den zehn- bis dreizehnjährigen ‚Nicht-Musikern‘ eine mäßig-starke Bevorzugung des europäischen vertrauten Skalenmaterials resp. ein leichteres Wahrnehmen der jeweiligen Melodieton-Verstimmung zur Folge. Durch formale musikpädagogische Unterweisungen im Schul- oder Instrumentalunterricht werden diese musikalischen Sozialisationsvorgänge verstärkt.

Sandra Trehub, eine auf das Forschungsgebiet ‚musikalische Entwicklungspsychologie‘ spezialisierte kanadische Wissenschaftlerin, hatte vom Lynch-Eilers-Versuchskonzept zum Zusammenhang zwischen Perzeption und (kulturspezifischer) musikalischer Enkulturation Gebrauch gemacht. Trehubs Ansatz bestand darin, die Auswirkung von „intervallic [symmetry or] asymmetry“¹ auf die Perzeption von *Tonleiterstrukturen* zu untersuchen, d.h. die Gültigkeit des ‚Äquidistanz‘-Prinzips auf der einen Seite bzw. die Wahrnehmung von „variation in step size“² auf der anderen Seite experimentell zu überprüfen sowie mögliche Zusatzeffekte durch

¹ S. E. Trehub et al. ‚Infants‘ and adults‘ perception ...‘, S. 965.

² loc.cit.

den Einfluß der Variablen ‚Skalenvertrautheit‘ (familiarity) festzustellen.

In einer vierteiligen Versuchsreihe (Studie von 1999) wurden hierzu die Unterscheidungsleistungen von neun-Monate-alten Säuglingen und von erwachsenen kanadischen Psychologiestudenten bei Melodieton-Verstimmungen gemessen.

Klangmaterial in *Teil-Experiment 1* war die Sinuston-Fassung des Incipits ‚Twinkle, twinkle, little star‘¹. Säuglingsprobanden hatten innerhalb der mehrfach repetierten Folge dieses Liedanfangs die Erhöhung des dritten Melodietons um einen Dreiviertel-Ton herauszuhören und durch eine Drehbewegung des Kopfes anzugeben. Das Incipit wurde einer ersten Kleinstkind-Gruppe in dur-tonaler Form und einer zweiten mit äquidistanten Tonabständen vorgespielt.

Versuchsergebnis:

Säuglinge hatten Tonhöhenveränderungen in dur-tonalem Kontext wahrnehmen können, nicht aber in Liedanfängen, deren Binnenstruktur aus äquidistanten Tonstufen bestand. Trehubs Befund steht nicht im Widerspruch zu den Resultaten von Lynch et al. (S. 109f), deren Schlußfolgerung („infants may be born with an *equipotentiality* for the perception of scales from a variety of cultures“²) sich auf Skalenarten mit von vorneherein *ungleichstufiger* Stufen- (Sekundintervall)-anordnung bezog (Dur, Moll sowie die japanische pelog-Leiter).

Trehubs Ergebnisse aus dem „Twinkle star“-Incipit-Experiment konnten den unabhängigen Variablen ‚Skalen-Gleichstufigkeit‘ bzw. ‚Skalen-Ungleichstufigkeit‘ aufgrund einer möglichen Konfundierung mit der (Stör)-variablen ‚Vertrautheit‘ dennoch nicht eindeutig zugeordnet werden.

Um derartige Konfundierungseffekte zu vermeiden, wurden in Trehubs *zweitem Teil-Experiment* ausschließlich Tonleitern (heptatonisch, vollständig auf- und abwärtsführende Form) als Testmaterial verwendet.³ Es waren a) die *kulturfremde gleichstufige* Skala

¹ Einzeltöne hatten eine einheitliche Dauer von 400 msec, Tonrepetitionen wurden fortgelassen; derartig modifizierte Melodieanfänge wurden in exakt-transponierter Form auf drei verschiedenen Tonstufen angeboten.

² M. P. Lynch et al. „Innateness, experience ...“ *Psychological Science* 1, 1990, S. 275, nicht kursiv im Original.

³ Länge der einzelnen Sinustöne wiederum einheitlich 400 msec, jede der drei strukturellen Skalenvarianten wurde als exakte Transposition auf drei verschiedenen Tonstufen präsentiert.

(Schrittweite von Tonstufe zu Tonstufe: 171,4 Cents),¹ b) die (*potentiell vertraute*) *ungleichstufige* Dur-Tonleiter sowie c) eine *unbekannte*, nicht-diatonische, neu konstruierte Skala von *ungleicher* Stufengröße, für die das Rahmenintervall ‚Oktave‘ in elf (anstelle der herkömmlichen zwölf) gleich große Intervalle gegliedert wurde, wobei vier dieser Unterteilungen hernach ausgespart blieben (vgl. Abb.47).

Säuglings-Probanden sollten eine Erhöhung der sechsten Skalenstufe um einen Dreiachtel-Ton in jeder der drei Tonleiterformen entdecken.

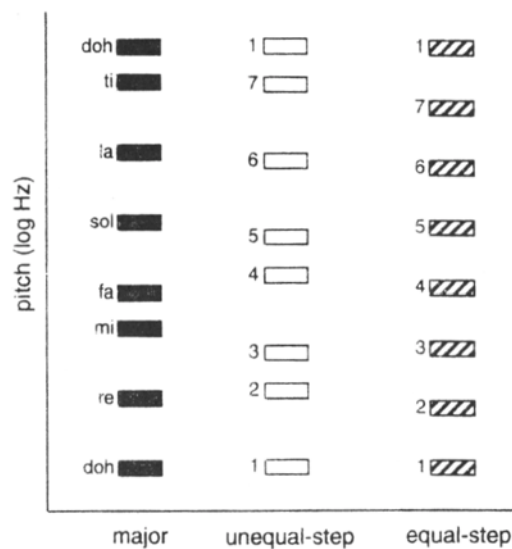


Abb.47. Schematische Darstellung der heptatonischen Leitern ‚Dur‘ (ungleichstufig, potentiell vertraut), ‚neu konstruiert‘ (ungleichstufig, unbekannt, nicht-diatonisch) und ‚äquiheptatonisch‘ (gleichstufig, unbekannt) (Trehub et al., 1999, S. 966).

Versuchsergebnis:

Kleinstkinder haben die Intonationsänderung in der neu konstruierten ungleichstufigen Tonleiter gleich häufig wie diejenige in potentiell bekanntem ungleichstufigen Dur-Zusammenhang erkannt. Eine Frequenzzunahme innerhalb der äquiheptatonischen Skala wurde hingegen nur zufallsmäßig entdeckt.

¹ eine Skalenform, die als Gebrauchs- wie auch als Instrumentaltonleiter realiter in der thailändischen (vormals siamesischen) Musik anzutreffen ist, in Trehubs eigenem Versuch jedoch ausdrücklich mit Verweis auf die *synthetisch generierte*, identisch aufgebaute äquiheptatonische Tonleiter aus dem Beitrag von R. N. Shepard und D. S. Jordan eingesetzt wurde. Beide Wissenschaftler hatten die gleichstufige Sinuston-Skala seinerzeit zwei Gruppen von Psychologiestudenten präsentiert und die Größen-Einschätzungen von aufeinanderfolgenden Tonleiterstufen bzw. Sekundintervallen im Vergleich zum intern gespeicherten Orientierungsraster ‚Dur-Schablone‘ ausgewertet (vgl. dazu R. N. Shepard /R. S. Jordan ‚Auditory illusions demonstrating that tones are assimilated to an internalized musical scale‘ *Science* 226, S. 1333f).

Das *dritte (bzw. vierte) Teil-Experiment* der Versuchsreihe bestand aus einem paarweisen Vergleich zwischen a) der Grundform einer Tonleiter und ihrer exakten Transposition bzw. b) der Grundform einer Leiter und einer Transposition, die eine Tonhöhenverschiebung des sechsten (resp. fünften) Skalentons um einen Viertelton nach oben (bzw. unten) enthielt. Auch hier wurden die Strukturarten ‚Dur-Skala‘, ‚ungleichstufige Skala‘ (neu entworfen) und ‚äquiheptatonische Leiter‘ als Klangmaterial angeboten. Am Hörversuch nahmen diesmal erwachsene Psychologiestudenten teil.

Versuchsergebnis:

Erwachsene Probanden hatten die Tonhöhenveränderungen innerhalb der vertrauten Dur-Tonleiter eindeutig erkannt; sie zeigten bei unbekanntem Skalenkontext signifikant schlechtere Diskriminationsleistungen - unabhängig vom Kriterium der ‚Gleich-‘ bzw. der ‚Ungleichstufigkeit‘.

Insgesamt sei - so heißt es in der Interpretation von Trehub und Mitarbeitern - im Säuglingsalter eine (vermutlich neuronal verankerte) Vorliebe für *ungleichstufige* Tonleiterarten gegenüber der gleichstufigen Skalenform zu beobachten. Der Grad der *Skalenvertrautheit* sei hierbei als Kriterium irrelevant. Erwachsene Probanden hatten - nach kulturspezifischen Lernvorgängen in der Phase der musikalischen Enkulturation - das Langzeitgedächtnis aktiviert; [sie ziehen zur ‚Filterung‘ und Beurteilung der aktuell perzipierten Skaleninformation offensichtlich mental gespeicherte Tonleiterschablonen heran (Anm. der Verf..)] Resultat dieses kultureigenen Überformungsprozesses sei die für westliche Probanden eigentümliche Bevorzugung der *vertrauten* Dur-Tonleiter vor kulturfremden gleich- oder ungleichstufigen Skalenformen.

Trehub folgert daraus: „In any case, priority for *unequal* over equal steps in scales qualifies as another processing universal.“¹

¹ S. Trehub „Human processing predispositions and musical universals“ in: *The origins of music* (Hrsg. N. Wallin et al.), S. 435, nicht kursiv im Original.

NB: Zur Unterteilung des Oktav-Rahmens in sieben Tonstufen von *ungleicher* Intervallgröße stellt R. N. Shepard das Folgende fest: „[it is this property of uneven spacing which] enables the listener to have, at every moment, a clear sense of where the music is with respect to such a framework. Only with respect to such a framework can there be things such as motion or rest, tension and resolution, or, in short, the underlying dynamisms of tonal music. By contrast, the complete symmetry and regularity of the chromatic and whole-tone scales means that every tone has the same status as every other. The fact that for such scales there can be no clear sense of location, and hence of motion is, I believe, the reason that such scales have never enjoyed wide or sustained popularity as a basis for music.“ (R. N. Shepard zit. nach J. A. Sloboda „The musical mind in context: Culture and biology“, 1985, S. 255).

3.3. Vorbemerkungen zum zweiten, experimentellen Teil der Arbeit

Die in den folgenden Kapiteln dargestellte eigene Untersuchung der Verfasserin soll ein Beitrag zum Bereich ‚experimental ethnomusicology‘ sein. Die Studie ist aus dem Gedanken des Kulturvergleichs heraus entstanden, mit der Intention, anhand von bioelektrischen Indikator-Reaktionen Aufschlüsse über das perzeptive und apperzeptive Verhalten von Versuchsteilnehmern verschiedener kultureller Herkunft bei akustischer Reizvorgabe zu erhalten.

Als methodisches Rüstzeug wurden ein Standard-Meßverfahren (EEG-Aufzeichnung und ‚Extraktion‘ von ereigniskorrelierten Potentialen) sowie eine Standard-Versuchskonzeption (oddball-Paradigma) aus der neurophysiologischen Forschung verwendet.

Innerhalb des Versuchskonzepts wurde die ‚cross-cultural-Komponente‘ durch die Segmente ‚Probandengruppen‘ und ‚Testmaterial‘ (‚Tonleitern von verschiedener Struktur‘) repräsentiert.

In diesem Abschnitt der Dissertation werden - in Vorbereitung auf die folgenden Seiten - grundsätzliche Überlegungen zur Struktur von Tonleitern angestellt. Sie geben Antwort auf zwei Fragen, welche sich dem Leser möglicherweise stellen. Sie lauten: a) Warum eigentlich ist die Tonleiter als Klangmaterial verwendet worden? sowie b) Weshalb wurden speziell diese (vier) Skalenformen für den Hörversuch ausgesucht?

Den Ausführungen zum musikalischen Grundbegriff ‚Tonleiter‘ (1) schließen sich weiterhin an:

- allgemein-gehaltene Anmerkungen zur Versuchsdurchführung mit nicht-europäischen Probanden (2)
 - die Formulierung einer Prämisse, gültig für den dargestellten ‚cross-cultural ERP-Versuch‘ (eine Veranschaulichung des Sachverhalts erfolgt anhand von Ergebnissen aus kulturvergleichenden *EEG*-Studien) (3) sowie
 - die Aufstellung einer *statistischen* Hypothese, in der mögliche interkulturelle
-

Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsunterschiede zum Ausdruck gebracht werden (4). (Sie wird in Kapitel 5 - durch Anwendung von Signifikanztests auf die Meßbefunde der ERP-Untersuchung - auf ihre Gültigkeit geprüft.)

3.3.1 Anmerkungen zum Begriff ‚Tonleiter‘:

Die *Tonleiter* per se ist ein konstitutives Element der Musik. Konstruktion bzw. Binnenstruktur einer Skala stellt A. Schneider in logisch-mathematischer Form dar:

... in praktisch allen Kulturen der Welt beruht Musik auf einer Ordnung von Tönen, die zu Reihen mit n Elementen bzw. Gliedern gefügt werden.¹ ... Der Begriff der <Skala> impliziert zunächst ein treppenförmiges An- oder Absteigen der Tonhöhe, eine mit Bezug auf die Tonhöhe monotone Folge der Töne und die Festlegung von Tonstufen; im übrigen kommt die Dimension der Zeit insofern ins Spiel, wie die Stufen nacheinander erreicht und klanglich realisiert werden. Daher definiert die Skala sowohl den Abstand zweier Rahmentöne (z.B. einer Quinte) wie auch die Anzahl der Stufen, die zwischen ihnen zu durchschreiten sind. Im übrigen bringt bereits die Brechung eines zuerst als tonaler Rahmen vorgestellten Intervalls [Oktave] in mehrere sukzessiv erklingende Töne irgendeine zeitliche Gliederung des Tonmaterials mit sich.²

Tonleitern haben den Status von ‚Nahezu-Universalien‘ (S.103). Sie dienen in fast allen Kulturgemeinschaften der Welt als strukturelle Grundlage für Melodiebildungen oder sind - zumindest ausschnittsweise - als real erklingende Bestandteile in Kompositionen vorhanden. Tonleitern stellen deshalb eine geeignete Stimulusform für ‚cross-cultural‘-Experimente dar. Im Unterschied dazu sollten Dreiklänge und Kadenzmodelle mit funktionalen Bezügen - Elemente der originär europäischen dur-moll-tonalen *Harmonik* also - nicht leichtfertig als Reizmaterial in einem kulturübergreifenden Rahmen verwendet werden. Hierzu schreibt E.M. v. Hornbostel: „Es geht durchaus nicht an, die Erlebnisse innerhalb unserer simultanharmonischen Musik als letzte psychische Tatsachen anzusprechen und ohne weiteres auf die ganze Menschheit zu verallgemeinern.“ R. Lach äußert sich in ähnlicher Weise: „... So wäre es z.B. schon ein Grundfehler, unseren Begriff der Tonika bei der Analyse primitiver und orientalischer ... Gesänge in diese hineinzutragen.“³

¹ A. Schneider *Tonhöhe, Skala, Klang*, 1997, S. 311; kursiv im Original.

² ebd., S. 319f.

³ E. M. v. Hornbostel ‚Die Probleme der vergleichenden Musikwissenschaft‘, 1905, S. 48f; R. Lach *Die vergleichende Musikwissenschaft, ihre Methoden und Probleme*, 1924, S. 81.

Tonleitern werden darüber hinaus von Kognitionspsychologen wie D. Harwood und W. J. Dowling als Realisierung des Konzepts ‚kategoriale Wahrnehmung‘ interpretiert.

A. Schneider erläutert den Begriff ‚kategoriale Wahrnehmung‘ (categorical perception) wie folgt:

The concept of categorical perception ... as developed, most of all, in speech studies, ... claims certain criteria to be valid which can be formulated thus: (1) *the sensory continuum* in question is *segmented* into a limited number of distinct labeling categories so that subjects will sort many stimuli varying on a certain dimension into a much smaller number of categories or classes. (2) ‘Categories’ (or classes) have sharp boundaries so that they are exclusive to each other; stimulus S can, as a rule, only fall into either category A or B ... (3) Thereby, at the category boundary, discrimination of stimuli should reach a sharp peak as subjects have to make a clear decision between stimuli to be assigned to either A or B. From this it follows that all stimuli assigned to, for example, a certain pitch class, are regarded basically to have *the ‘same’ quality...*¹

Die von D. Harwood aus kognitionspsychologischer Sicht gegebene Definition des ‚Tonleiter-Begriffs‘ ist auf der Grundlage des ‚categorical perception‘-Konzepts leicht verständlich:

... scales seem to be basic cognitive frameworks on which are ‘hung’ pitches and pitch relations the performers of a tradition consider meaningful. These ‘frameworks’ are representations in memory, and serve to reduce perceptual ambiguity in a perceived musical stimulus. The general process involved, which many psychologists call ‘categorical perception’, in this case uses discrete pitches as means of imposing on incoming sound a set of meaningful conceptual categories and relations between them.²

Das Prinzip der Skalenbildung (‚Tonleiter-Genese‘), so geht aus beiden Definitionen hervor (S. 116 und 117), ist demnach eines der ‚Segmentierung‘ bzw. der ‚Portionierung‘: ‚Skalenbildung‘ als eine diskontinuierlich in diskreten Leiterstufen erfolgende sukzessive Zunahme des Parameters ‚Tonhöhe‘ und seiner Frequenzwerte ist - unter logisch-mathematischem Aspekt - nicht mehr mit Hilfe des punktuellen, linear-logarithmischen Zusammenhangs zwischen der Reizgröße (Frequenz) und der Empfindungsgröße (Tonhöhe) aus der Psychophysik darstellbar (vgl. die Formel von G. Th. Fechner: $R = k + c \log S$; R für Reaktion/Empfindung/Wahrnehmung, S für Stimulus, k für additive Konstante, c für Proportionalitätskonstante).

¹ A. Schneider ‚On categorical perception of pitch ...‘, 1997, S. 252, nicht kursiv im Original.

² D. Harwood ‚Universals in music: a perspective from cognitive psychology‘, 1976, S. 526.

Tonleiter-Genese ist - im Sinne des Zwei-Komponenten-Modells der Tonhöhe - vielmehr als eine leichter faßliche Gruppierung von Tonhöheninformation in einigen wenigen Tonhöhenklassen (pitch classes bzw. discrete scale steps einer Tonleiter) aufzufassen, für die jeweils eine spezifische Tonfarbe (Chroma, Tonigkeit) charakteristisch ist.¹ Dieser Sachverhalt manifestiert sich somit auf struktureller, äußerer Ebene in der Binnenkonstruktion einer jeden Tonleiter, kennzeichnet aber auch den *Wahrnehmungs*-Gegenstand, das mentale Perzept, an sich und bezieht sich genauso auf das Wahrnehmungs-*Verhalten* einer Person, d.h. auf den *Vorgang* des Perzipierens.²

In einer Graphik hat W. J. Dowling verschiedene Abstraktionsgrade, besser:

„Konkretisierungsformen“ in bezug auf den Skalen-Aspekt veranschaulicht (vgl. Abb.48).

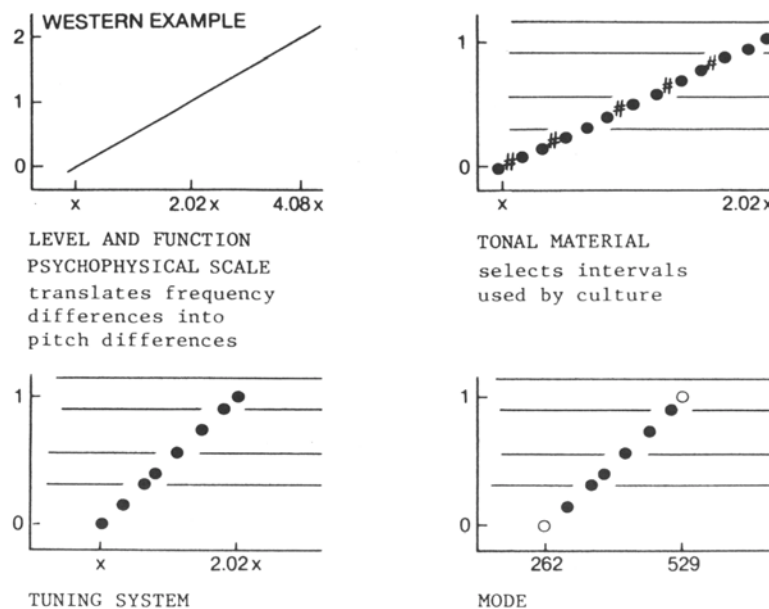


Abb.48. (Dowling, 1982, S. 21).

¹ dazu auch A. Schneider („On categorical perception“, S. 253): „... the notion of *Tonigkeit* (tone quality, tone chroma) has been firmly established in music psychology, and has been found valid especially with respect to musically trained subjects, and in experiments in which relations between pitches and pitch classes are considered in terms of order, hierarchy, similarity.“ (kursiv im Original).

² Zum Zusammenhang zwischen *Wahrnehmungsprozessen*, mental gespeicherten und abrufbaren *Wahrnehmungsinhalten* und äußeren, sensorisch zu erlebenden Reizvorlagen gibt A. Schneider - vom philosophischen Standpunkt aus - folgende Erläuterungen (ebd., S. 251): „Internal perception, in Brentano’s approach, on the one hand regards real objects as its content; on the other, it becomes aware of mental acts performed by a subject that is *perceiving* ... Thereby, internal perception, as a reflective mode, consists of both act and content ... There are thus two objects of internal perception, one typically being a percept, distinct already in its quality, that has been derived from a physical stimulus sensed in some way by the subject. The other is a purely psychic or, ... mental object, namely, the subject’s awareness of the listening process which includes recollection, comparison, anticipation.“

Sein Ausdruck ‚tonal material‘ (Skizze b), der mit Hornbostels Terminus der ‚Materialleiter‘ gleichgesetzt werden kann,¹ kennzeichnet den Tonvorrat einer spezifischen Musikkultur (Beispiele: zwölfstufige chromatische Leiter des europäischen Dur-Moll-Systems; ungleichstufige 24-Ton-Skala der türkischen Kunstmusik; Grundeinteilung der Oktave in 22 Kleinstintervalle (srutis = hörbare Töne) in der nord- und südindischen Musik.)

Dowlings Begriff ‚tuning system‘ (Skizze c, synonym: ‚Gebrauchsleiter‘ (Terminus v. Hornbostel)) repräsentiert eine ‚Teilmenge‘ dieses Fundus - eine Auswahl aus dem Gesamtbestand von Tönen eines Tonsystems, die für die Realisation eines in *einer* Tonart gehaltenen (d.h. ohne Modulation konzipierten) Musikstückes erforderlich ist.²

Hierbei ist der siebenstufige Typus (die heptatonische Form) unter sämtlichen, nach Anzahl der jeweiligen Skalenstufen geordneten Gebrauchsleiter-Arten am meisten verbreitet. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde das Kriterium der ‚Siebenstufigkeit‘ gleichsam als kleinster gemeinsamer Nenner bei der Auswahl der vier dargebotenen Leiterformen herangezogen. Dies impliziert - zum Zwecke einer ‚faßlichen‘ experimentellen Umsetzung - einen Verzicht auf zusätzliche Zwischennoten und Auszierungen einer Tonleiter auf mikrotonaler Ebene (vergleichbar mit den sog. ‚gamakas‘ in der nord- und südindischen Musizierpraxis).

Der vorwiegend in angloamerikanischen und französischsprachigen musikwissenschaftlichen Beiträgen verwendete Begriff ‚mode‘ (Skizze d), ist als ein auf einen Zentralton (tonal center) ausgerichtetes, rein *melodisches* (d.h. nicht harmonisches) Bezugssystem zu verstehen und läßt als solches Prinzipien wie Gewichtung und tonale Verankerung wirksam werden.

Der begriffsmäßige Unterschied zwischen den Wörtern ‚Tonleiter‘ und ‚mode‘ wird in den Arbeiten von H. S. Powers sowie I. Cross et al. deutlich. Cross und Mitarbeiter formulieren wie folgt:

*Scale ... represents a structure in which all notes are of equal importance ... Mode has been defined ... as the „middle ground“ in a theoretical continuum of musical pitch organization, which ranges from a most concrete level, that of particular tune, to a most abstract level, that of scale.*³

¹ vgl. E. M. v. Hornbostel ‚Die Probleme der vergleichenden Musikwissenschaft‘, 1905, S. 45f.

² Der Ausdruck ‚tuning system‘ schließt darüber hinaus wohl auch Hornbostels Term der ‚Instrumentalleiter‘, den dritten seiner Skalen-Klassifikationsvorschläge ein, welcher sich auf die Stufenfolge bei Instrumenten mit *unveränderbarer Stimmung* (z.B. Xylophone, Metallophone) bezieht. In Dowlings Aufsatz ‚Musical scales and psychophysical scales‘ (1982) ist hierzu zu lesen: ‚tuning system, a selection of a subset of the available pitch intervals made by choice of *instrument or genre*‘ (S. 20, nicht kursiv im Original).

³ I. Cross et al. ‚Preferences for scale structure ...‘, 1983, S. 446, kursiv im Original.

Und H. S. Powers merkt an:

... To attribute mode to a musical item implies some hierarchy of pitch relationships, ... it is more than merely a scale. ... This polarity of scale and tune is an instance of the familiar opposition of general to specific, which in music is often thought of as a contrasting of theory with practice. When modes ... are construed as primarily scalar, they tend to be used for classifying, for grouping musical entities into ideal categories. When the melodic aspects of modality are its predominant features, then modes are seen as guides and norms for composition or improvisation.¹

Das Konzept ‚mode‘ hat in der vorliegenden cross-cultural-Arbeit keine Berücksichtigung gefunden, da Über- und Unterordnungsverhältnisse innerhalb der Tonleiter, etwa durch eine Akzentuierung bzw. Dehnung des Anfangs- und des Finaltons verbunden mit einem gewichtenden Tonalitäts-Denken von vorneherein vermieden werden sollten. Ebenso wenig wurden Melodieformeln und Spielfiguren aus der Musizierpraxis als Reizmaterial verwendet. Diese tragen zwar zu einer wirklichkeitsnaheren Versuchssituation sowie zu einer größeren Adäquanz gegenüber der zu testenden Musik-Kultur bei, erfüllen zugleich jedoch nicht die für einen sinnvollen Vergleichsvorgang notwendige experimentelle Bedingung der Stimulus-*Invarianz*, *Reiz-Uniformität* oder *Reiz-Gleichartigkeit*.

De facto wurden den Versuchsteilnehmern vier verschiedene heptatonische Gebrauchsleitern in (ausschließlich) aufsteigender Richtung und mit einer konstanten Dauer der einzelnen Skalentöne dargeboten: die Tonleitern a) ‚Dur‘ und b) ‚harmonisch Moll‘ - zwei Skalenformen, die seit dem Zeitabschnitt des Spätbarock (von 1720 an) die Grundpfeiler des tonalen Musikschaffens in Europa sind; weiterhin c) der makam Hicaz der türkischen Kunstmusik sowie d) die äquiheptatonische Skala aus Thailand (vormals Siam). Zur Auswahl eben dieser vier Tonleiterarten hat das Interesse an einem möglichen Einfluß der Struktur-Komponente (des intervallischen Aufbaus einer Tonleiter) auf den Wahrnehmungsvorgang geführt. In diesem Zusammenhang wurde insbesondere auf die elektrophysiologischen Reaktionen bei der Perzeption und kognitiven Weiterverarbeitung der für sämtliche Versuchspersonen gleichermaßen unvertrauten äquidistanten Thai-Skala geachtet.

¹ H. S. Powers *New Grove's Dictionary* Stichwort ‚mode‘, S. 377.

Nachfolgend sollen Konstruktionsprinzipien der *außer-europäischen* Skalenformen aufgeführt werden.

(Die Binnen-Beschaffenheit der Dur- und der harmonischen Molltonreihe¹ wird als bekannt vorausgesetzt.)

Das *makam*-System der türkischen Kunstmusik (arabische Schreibweise: *maqam* (pl. *maqamat*), arabische Bezeichnung für ‚Ort, Standort‘) besteht aus zwei Komponenten:

1. aus Kompositionsregeln, welche den melodischen Part eines Musikstückes betreffen und
2. aus Angaben zur Intervallstruktur der zugrunde liegenden Tonleitern.²

H. Touma merkt hierzu an: „We differentiate in the Arabic musical world between *maqam* as a musical form and the *maqam* ‘row’. ... The *maqam* can be vocal, instrumental, or vocal accompanied by instruments or percussion.“³

D. Cohen und R. Katz stellen in Ergänzung fest:

The prevailing opinion is that, on the axis that has the scale at one end and the melody type at the other, the *maqam* framework is extremely close to the scale end, while other modal frameworks, such as the *dastgah* in Persian music and the *raga* in Indian music, are near the end of the melody type.⁴

Im Unterschied zu europäischen Dur- und Molltonleitern, die aus einer charakteristischen Anordnung von nur zwei Basisintervallen - große und kleine Sekunde (Ganztonschritt und Halbtonschritt) - bestehen, gibt es in türkischen *makam*-Reihen insgesamt fünf verschiedene Sekund-Arten, die strukturbildend sind: der kleine Halbton von 90 Cents, der große Halbton (114 Cents), der kleine Ganzton (180 Cents), der große Ganzton (204 Cents) sowie die übermäßige Sekunde von 271 Cents.⁵

Die für das cross-cultural-Experiment ausgewählte Skala ‚*makam Hicaz*‘ stellt eine gebräuchliche Tonreihe in der türkischen Kunstmusik dar. Sie setzt sich aus vier der fünf

¹ wichtigstes Merkmal der Skala ‚harmonisch Moll‘ ist die künstliche Bildung des Leittons durch Erhöhung der siebten Stufe einer reinen (äolischen) Molltonleiter; der neu geschaffene Leitton ist für Kadenzierungsvorgänge von Bedeutung und hat einen übermäßigen Sekundschritt zwischen der sechsten und siebten Skalenstufe zur Folge.

² vgl. K. Signell *Makam - modal practice in Turkish art music*, 1977, S. 16.

³ Diskussionsrunde auf dem zwölften Kongreß der Internat. Musicological Society, Berkeley, abgedruckt in: H. S. Powers, ‚Eastern and Western concepts of mode‘, 1977, S. 544f, kursiv im Original.

⁴ in: I. Deliège, J. Sloboda (Hrsg.) *Perception and cognition of music*, 1997, S. 42, kursiv im Original.

⁵ dazu K. Signell a.a.O. S. 22ff; eine exakte Skalennotation wird mit Hilfe von sechs verschiedenen Akzidentien realisiert (je drei Formen der Kreuz- und der b-Vorzeichnung, vgl. Signell *Makam: modal practice*, S. 23f).

Sekund-Intervallformen zusammen (Tonabstände [in Cents]: 114 - 271 - 114 - 204 - 180 - 114 - 204), so daß in ihrer Binnenstruktur lediglich der kleine Halbton von 90 Cents fehlt.

Konstitutives Merkmal der *äquiheptatonischen Tonleiter aus Thailand* - der zweiten, im ERP-Versuch dargebotenen außer-europäischen Skala - sind gleichweit voneinander entfernte Tonstufen im Abstand von 171,4 Cents. Zur besonderen Binnen-Beschaffenheit der Thai-Skala geben A. Beurmann und A. Schneider die folgende Beschreibung:

Bezogen auf einen Ausgangston *c* (= Stufe I) liegt nämlich Stufe II noch unter dem kleinen Ganzton, Stufe III wäre als ‚neutrale‘ Terz anzusehen; die Stufe IV entspricht näherungsweise einer erhöhten Quarte mit dem Tonverhältnis 27:20, die Stufe V einer merklich zu engen Quinte. Schließlich steht die Stufe VI zwischen kleiner und großer Sexte unseres Tonsystems, Stufe VII zwischen den Septimen *b* ... und *h*.¹

Der charakteristische Skalenaufbau sei aus einer „Streckenteilung in gleiche Abschnitte vom Rahmenintervall der Oktave“² ausgehend entstanden; die Untergliederung wiederum stelle eine Anwendung des aus der Geometrie entlehnten ‚Distanzprinzips‘ dar - ein Prinzip, „bei dem“, so formuliert es R. Lach, „es nicht auf möglichst *einfache*, sondern auf lauter *gleiche* Schwingungszahlenverhältnisse ankommt.“³ Darüber hinaus hat C. Stumpf auf die zusätzlich zum vorherrschenden Distanzprinzip vorhandene „Mitwirkung des *Konsonanzbewußtseins*“⁴ als einen weiteren Faktor in bezug auf die Konstruktion der Thai-Skala aufmerksam gemacht - Konsonanzbewußtsein sei evident in der Wahl des Oktavrahmens als Ausgangspunkt für die Streckenaufteilung sowie in der besonderen Funktion der Quarte, die ihr beim Stimmen der Instrumente und in der siamesischen Orchestermusik zukommt.⁵

Notabene:

- a) Originär heptatonische ‚*that*‘- bzw. ‚*mela*‘-Skalen der nordindischen resp. südindischen klassischen Musik waren als Stimulusmaterial für den Untersuchungszweck weniger gut geeignet. Der Grund ist die große strukturelle Ähnlichkeit zwischen den indischen

¹ A. Beurmann, A. Schneider „Probleme und Aufgaben akustisch-tonometrischer Forschung“, 1989, S. 158.

² A. Schneider *Tonhöhe, Skala, Klang*, 1997, S. 416.

³ in: *Die vergleichende Musikwissenschaft, ihre Methoden und Probleme*, 1924, S. 67, Sperrdruck im Original; ausführliche Erläuterungen zum ‚Distanz‘-Begriff geben A. Schneider und A. E. Beurmann in: „Tonsysteme, Frequenzdistanz, Klangformen ...“ *Hamb. Jb. für Musikwissenschaft*, S. 181ff.

⁴ C. Stumpf „Tonsystem und Musik der Siamesen“, 1901, S. 145, nicht kursiv im Original.

⁵ loc.cit.

- Skalenformen und den zahlreichen europäischen Kirchentönen (modi) und Tonleitern des Dur-Moll-Systems.¹ Ein gemeinsamer *Ursprung* als Ursache für die Parallelen im Binnenaufbau der Skalen kommt offensichtlich nicht in Betracht.²
- b) Das Testmaterial, das aus den vier oben dargestellten Tonleiterarten bestand, wurde auf rein synthetischem Wege erstellt; eine nachträgliche Bearbeitung der Töne mit Hilfe von digital gespeicherten natürlichen Instrumentalklängen ist nicht erfolgt. Das Ausklammern des Parameters ‚Klangfarbe‘ wurde aus methodischen Gründen erwogen, da der *mögliche* Einfluß von zwei Faktoren in Hinblick auf die Interpretation der Versuchsergebnisse zu bedenken war:
1. eine Konfundierung bzw. Wechselwirkung der Variablen ‚Timbre‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Skala‘ - ein Zusammenhang, auf den z.B. A. Schneider und A. Beurmann in einem Beitrag aufmerksam gemacht haben,³ er wurde auch im Rahmen eines Vorversuchs zum eigentlichen ERP-Experiment überprüft.⁴
 2. ein Sich-Einstellen von *außermusikalischen*, kulturspezifischen Assoziationen während der Skalenpräsentation - wie etwa Tages- und Jahreszeiten, emotionale Zustände, religiöse Inhalte, ethische Konzepte.⁵ Diese könnten sich durch ein Miteinbeziehen der Klangfarbenkomponente auf nicht-erwünschte Weise verstärken und elektrophysiologische Reaktionen verfälschen.

Wenngleich beide Aspekte in der vorliegenden Untersuchung zu einer Präsentation von *synthetischen* Klängen im Haupt-Versuch geführt haben, sollten dennoch Auffassungen,

¹ Selbiges konstatiert auch L. Pesch *Vom Klang des Glücks*, 1996, S. 24.

² Zu diesem Punkt schreibt N. Jairazbhoy (mit Bezug auf das Beispiel ‚that Bilaval‘): „Today *Bilaval that*, comparable to the Western major scale or the C mode (the ecclesiastic Ionian), is generally accepted as the natural scale.“ Weiterhin heißt es in der auf diesen Satz bezogenen Fußnote: „It is tempting to think that this might be a result of Western influence, but this seems unlikely in view of the widespread acceptance in India of *Bilaval that* as the natural scale. It should be noted that very few traditional musicians have any familiarity with Western music, and most of them find it completely alien.“ (N. Jairazbhoy *The rags of North Indian music*, 1971, S. 22, kursiv im Original).

³ A. Schneider, A. Beurmann ‚Tonhöhe - Intervall - Distanz‘, 1994, S. 132f.

⁴ vgl. Abschnitt 4.4.5..

⁵ vgl. L. B. Meyer ‚Universalism and relativism in the study of ethnic music‘, 1960, S. 51 sowie H. S. Powers ‚Eastern and Western concepts of mode‘, 1977, S. 525.

wie diejenige des Anthropologen und Musikethnologen J. Blacking allgemein Berücksichtigung finden, der bei einem experimentellen Vorgehen im ethnomusikalischen Bereich stets für das Erhalten und Miteinbeziehen von *Sound-Kontext* plädiert hatte.¹

3.3.2. Zur Stichproben-Zusammenstellung im ethnomusikalisch-experimentellen Bereich - einige grundsätzliche Anmerkungen

Versuchsreihen, die - wie das nachfolgend dargestellte Experiment - mit nicht-europäischen Probanden durchgeführt werden, sind bei der Konzept-Umsetzung mit einer Reihe von Schwierigkeiten verbunden; mit Blick auf die Zusammensetzung von Stichproben kann dem Homogenitäts-Kriterium deshalb kaum entsprochen werden. A. Schneider und A. Beurmann listen derartige probandenbezogene ‚constraints‘ in ihrem Beitrag von 1991 auf.²

Hierzu zählen:

1. eine zumeist nur zeitweilige Präsenz potentieller Probanden (überwiegend reisende Ensemblesmusiker)
2. ambivalente (d.h. uneinheitliche und zum Teil widersprüchliche) Resultate aufgrund eines ungewohnten Umgangs mit europäischen Testmethoden (z.B. der Fragebogentechnik oder mit psychoakustischen Meßverfahren)
3. fehlerhafte Ergebnisse, die sich aus situativen Einflüssen ergeben (Untersuchungen in artifizieller Labor-Atmosphäre); in neueren Forschungsarbeiten gewinnt der Faktor ‚adäquate ökologische Versuchsbedingungen‘, d.h. Datenerhebung in der natürlichen

¹ originaler Wortlaut: „Tests of timbre and loudness would be irrelevant outside the social context of sound...“ Und an anderer Stelle heißt es: „For instance, a test of musical pitch based on the sounds of a General Radio beat-frequency oscillator may seem to be more scientific than one based on *culturally familiar timbres*, because the intensity and duration of the sounds can be exactly controlled. But the results of such a test could in fact represent a distortion of the truth, because the subjects‘ perception may be thrown off balance by the unfamiliar medium.“ (J. Blacking *How musical is man?*, 1973, S. 6 und 5, nicht kursiv im Original).

² A. Schneider, A. E. Beurmann „Tonsysteme, Frequenzdistanz, Klangformen ...“, 1991, S. 180f.

Umgebung der Probanden allerdings zunehmend an Bedeutung¹⁾)

4. Sprachbarrieren, Verständigungsschwierigkeiten [und Probleme in bezug auf eine korrekte Übersetzung von Instruktionmaterial]
5. Beeinflussung von ‚non-westerners‘ (und deren Versuchsergebnissen) durch Einwirkung von Akkulturation.²

Erste ethno-experimentelle Untersuchungen dieser Art wurden in der Hauptsache von C. Stumpf vorgenommen, der bei einem Gastspiel einer siamesischen Theatertruppe im September 1900 in Berlin Gelegenheit hatte, neben Vermessungen von Idiophonen (Ranats, Khongs) auch Hörtests mit den Musikern des Ensembles - bei allerdings nicht zufriedenstellenden Ergebnissen - durchzuführen.

Stumpfs Hörversuche bestanden u.a. aus: a) einem psychoakustischen Experiment, welches dem sog. ‚Herstellungsverfahren‘ bzw. der ‚Einregelungsmethode‘³ ähnelte und von den Siamesen die Einstellung sämtlicher Tonstufen der kultureigenen äquiheptatonischen Skala mittels ‚Tonmesser‘ erforderte, b) aus einem Tonhöhentest, bei dem Thai-Musiker den Klangeindruck der mit exakt abgestimmten ‚Königschen Stimmgabeln‘ vorgeführten Dur-Tonleiter zu bewerten hatten, sowie c) aus einer Beurteilung (resp. einem Nachsingen) von auf dem Klavier vorgespielten Intervallen, Dreiklängen, Septakkorden und Terzreihungen.

¹ dazu A. Schneider (*Tonhöhe Skala Klang*, 1997, S. 17): „Es liegt auf der Hand, daß die aus sachlichen Gründen gebotenen Hörversuche zu außereuropäischen Stimmungen, Skalen und Tonsystemen am besten ‚vor Ort‘, also vor allem in Ländern Afrikas und Asiens und soweit als möglich im musikalischen und kulturellen <Kontext> durchgeführt werden; in der Tat sind schon eine Reihe solcher Experimente in jüngster Zeit veranstaltet, Methoden und Resultate publiziert worden. Da solche Unternehmungen indessen organisatorisch, finanziell sowie in der inhaltlichen Durchführung auf nicht wenige Schwierigkeiten stoßen, wird man wohl für einige Zeit auf Versuche auch mit ‚westlichen‘ Vpn kaum verzichten können, zumal hier Probleme der Verständigung, der experimentellen Technik und der Dokumentation leichter zu lösen sind.“

² Der Begriff ‚Akkulturation‘ (lat. ‚Kulturübernahme‘, ‚-anpassung‘) repräsentiert nach H. Schoeck (*Soziologisches Wörterbuch*, 1982, S. 14) folgenden Sachverhalt: „Akkulturation findet statt, wenn Individuen oder Gruppen (Einwanderer, Gastarbeiter) meist schon als Herangewachsene, in ihrer eigenen ursprünglichen Kultur verankert, Elemente einer fremden Kultur übernehmen (meist innere und äußere Verhaltensmuster, Werte) ...“ J.W. Berry und D. L. Sam stellen in gleicher Weise fest („Acculturation and adaptation“, *Handbook of cross-cultural psychology Vol. 3*, S. 293): „[Der Ausdruck ‚Akkulturation‘ bezeichnet], how individuals, who have developed in one cultural context, manage to adapt to new contexts that impinge on them as a result of migration, colonization, or other forms of intercultural encounters. The concept of *acculturation* is employed to refer to the cultural changes resulting from these encounters, while the concepts of *psychological acculturation* and *adaptation* are employed to refer to the psychological changes and eventual outcomes that occur as a result of individuals experiencing acculturation.“

³ vgl. E. Zwicker *Psychoakustik*, 1982, S. 11.

Analysiert man die strukturelle Zusammensetzung der Teilnehmergruppen aus der *vorliegenden* cross-cultural-Untersuchung, so konnte eine gewisse Heterogenität in bezug auf die Merkmalsausprägungen ‚Alter‘, ‚Schulbildung‘ sowie ‚Aufenthaltsdauer in Deutschland‘ nicht vermieden werden.¹ Bei der Auswahl und Zusammenstellung wurde vor allem auf einen hohen musikalischen Ausbildungsstand der Probanden Wert gelegt, ohnehin waren die meisten von ihnen professionelle Musiker. So kann von einer geringen intra- und interkulturellen Variabilität bezogen auf den Faktor ‚musikalische Vorkenntnisse‘ ausgegangen werden. Geringe Variabilität war auch insofern wünschenswert, da sich besagte und zu erwartende Vorgänge der ‚kategorialen Wahrnehmung‘² - den bisherigen Forschungsergebnissen zufolge - ausschließlich bei *musikalisch geschulten* Probanden beobachten lassen. E. M. Burns und W. D. Ward stellen diesbezüglich fest:

Non-musicians ... show no evidence of categorical perception ... Categorical perception, at least as it is usually defined (i.e., in terms of the relationship between identification and discrimination), may only be relevant when musicians are listening ‘analytically’... ... The evidence presented thus far implies that musical-interval categories are *learned* rather than are the direct result of characteristics of the auditory system...³

Notabene: Im übrigen hätte die, auch in der musikalischen Entwicklungspsychologie auftretende Frage nach dem Angeborensein oder der Erlernbarkeit des Prinzips ‚kategoriale Wahrnehmung‘ und anderer Hörkonzepte, mit dieser Stichprobenzusammensetzung nicht überprüft werden können: Sämtliche Versuchsteilnehmer hatten die Phase der musikalischen Sozialisation bereits abgeschlossen, so daß Unter-Gruppen mit ‚repräsentativen [d.h. sich in der Phase des (musikalischen) Heranreifens befindenden] Merkmalsträgern‘⁴ im Sinne eines ‚vorher - nachher‘-Versuchskonzepts (vor, während und nach der musikalischen Enkulturation: (Säuglinge und Kleinstkinder / Probanden, die Schulmusikunterricht oder eine Instrumentalausbildung erhalten / erwachsene Vpn) nicht hätten zusammengestellt werden können.

¹ vgl. die biographischen Angaben zu jedem Versuchsteilnehmer auf S. 135ff dieser Arbeit.

² dazu S. 117.

³ E. M. Burns/W.D. Ward ‚Intervals, scales, and tuning‘, 1982, S. 252, 265 sowie 261, nicht kursiv im Original.

⁴ Sprung und Sprung *Grundlagen der Methodologie*, S. 353.

3.3.3. Zur Prämisse des cross-cultural-ERP-Experiments / Darstellung von Ergebnissen der kulturvergleichenden *EEG*-Forschung

Damit das wahrnehmende bzw. aktiv erkennende Verhalten von Probanden mit kulturell unterschiedlicher Herkunft in der ‚kulturvergleichenden Kognitionswissenschaft‘ nebeneinandergehalten werden kann, muß ein kleinster gemeinsamer Nenner kulturübergreifend Gültigkeit haben: Es ist die arteigene ‚*biologische Grundausstattung*‘ (‚natürliche Hardware‘) des Menschen.

Sie bezieht sich: a) auf den Sinnesapparat und das sensorische Wahrnehmungsvermögen an sich (speziell: auf die Reizaufnahme via Gehörorgan und Hörbahn) sowie b) auf die interne kognitive Weiterverarbeitung von Stimuli, zu der auch die Fähigkeit zur Abstraktion, zum schlußfolgernden Denken, zum Kategorisieren und zur Ausbildung von mentalen Repräsentationen gehören.¹ A. Schneider formuliert diesbezüglich: „Im übrigen sprechen die im Rahmen neurophysiologischer und neuropsychologischer Forschung erstellten Modelle musikalischen Hörens dafür, daß grundlegende Mechanismen zumindest der Perzeption für die Spezies *homo sapiens* ungeachtet der in die Apperzeption eingehenden kulturellen Konditionierung und Differenzierung einheitlich gelagert und transkulturell wirksam sind.“²

Da die vorliegende Arbeit den kulturvergleichend-psychologischen Ansatz mit ereignis-korrelierter Potentialforschung verbindet bzw. präziser formuliert: ERP-Komponenten als *Indikatoren* verwendet, um anhand der elektrophysiologischen Daten von Angehörigen aus drei Musikkulturen Angaben zur Perzeption und kognitiven Verarbeitung von verschiedenen strukturierten Tonleitern machen zu können, muß sich die Prämisse einer einheitlich für alle Menschen geltenden ‚biologischen Grundausstattung‘ nicht nur auf sensorische und kognitive Mechanismen, sondern auch auf einen dritten Punkt beziehen: auf spezies-bedingte Funktionsweisen und Strukturen des Gehirns, die - unabhängig vom Faktor ‚Kultur‘ -

¹ vgl. J. Wassmann ‚Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen ...‘, 1988, S.32 sowie U. Liebig und P. Ohler ‚Aspekte und Probleme des kognitionspsychologischen Kulturvergleichs‘ in: A. Thomas (Hrsg.) *Kulturvergleichende Psychologie*, 1993, S. 221.

² *Tonhöhe Skala Klang*, 1997, S. 17, kursiv im Original.

ähnliche bzw. nahezu gleiche hirnpfysiologische Reaktionen generieren, die z.B. bei der Aufzeichnung eines Ruhe-EEGs¹ gemessen werden können.

R. Walker merkt hierzu an:

While it must be the case that the brain has some basic structure and biology shared by all of the same species, it is apparent that there is a high degree of malleability which is susceptible to experience and development. Consequently, whatever the basic biology or physiology of brains, the effects of experience, within a cultural context, appears to be extremely important in the operations of brains.² ... A distinction should be drawn between innate and basic brain mechanisms necessary for survival and possessed by all humans, and the brain operations which relate to, and are developed under, specific cultural situations.³

Die Frage nach den Zusammenhängen zwischen hirnelektrischen Probanden-Reaktionen und genetischen und/oder kulturellen Faktoren wurde schon in den 50er und 60er Jahren gestellt; A. C. Mundy-Castle und G. K. Nelson hatten zu diesem Problem unabhängig voneinander kultur- (bzw. rassen⁴-)vergleichende EEG-Untersuchungen in Ghana bzw. Südafrika durchgeführt.⁵

Von ihnen wurden folgende zwei Hypothesen zur EEG-Aktivität und zu EEG-Spektralkomponenten der weißen und schwarzen Bevölkerung Südafrikas aufgestellt:

1. Große Divergenzen in den EEG-Kurven der weißen und schwarzen Population Südafrikas deuten auf Verhaltens-Unterschiede genetischen Ursprungs hin.
2. Kleine bioelektrische Potentialveränderungen sind auf Umwelteinflüsse bzw. kulturelle Gegebenheiten zurückzuführen.⁶

Beide Hypothesen wurden anhand von EEG-Messungen bei Vorgabe der Konditionen ‚Ruhe-Phase ohne Reizvorgabe‘ (Ruhe-EEG) und ‚Photostimulation‘ (Präsentation von Lichtblitzen)

¹ vgl. S. 7ff dieser Arbeit.

² R. Walker „Open peer commentary: ...“, 1996, S. 103.

³ ebd., S. 113.

⁴ wertneutral im Sinne der physischen Anthropologie zu verstehen.

⁵ Die Titel ihrer Beiträge lauten:

a) A. C. Mundy-Castle „Psychology in Ghana: Studies of the electrical rhythms of the brain“, 1967

b) A. C. Mundy-Castle et al. „A comparative study of the electroencephalograms of normal Africans and Europeans of Southern Africa“, 1953

c) G. K. Nelson, *Race, culture and brain function*, 1964.

⁶ in originalen Wortlaut: „The underlying hypothesis is that a major difference between the electroencephalograms of the white and black populations of this country would favour an explanation of corresponding behavioural differences in terms of largely hereditary factors, while minor differences might be attributable to the effects of such environmental pressures as those of culture.“ (G. K. Nelson *Race, culture and brain function*, 1964, S. 4).

überprüft.¹

Versuchsergebnis (Studie G. Nelson):

Alpha-Aktivität (EEG-Spektralanteile im Frequenzbereich von 8 Hz bis 13 Hz) war bei farbigen Probanden häufiger als bei weißen Versuchsteilnehmern zu beobachten; Schwarze prägten den α -Rhythmus überwiegend in parietalen, Weiße in okzipitalen Hirnregionen aus.

„Alpha-Reichtum“ im EEG wurde von G. K. Nelson als Ausdruck einer bei Negern zu beobachtenden hohen Vitalität und Emotionalität interpretiert.²

Ähnliche Resultate hat auch die Untersuchung von *A. C. Mundy-Castle et al.* aus dem Jahr 1953 ergeben. In ihrer Studie sind EEG-Reaktionen von 66 Bantu-sprechenden Schwarzafrikanern mit denjenigen von 72 weißen Südafrikanern europäischer Herkunft verglichen worden; bioelektrische Spontanaktivität wurde unter verschiedenen Versuchsbedingungen („Augen geöffnet“, „Augen geschlossen“, „Lösen einfacher Rechenaufgaben“, „photische Stimulation“ und „Hyperpnoe (vertiefte Atmung)“) an Elektroden gemessen, die über sämtlichen Hirnarealen plaziert waren.

Versuchsergebnisse:

1. EEG-Muster von schwarzen und weißen Südafrikanern unterschieden sich „in Ruhe“, bei photischer Stimulation und vertiefter Atmung nur geringfügig voneinander.
2. Im Ruhe-EEG von südafrikanischen Probanden europäischer Herkunft trat im Unterschied zu demjenigen von Schwarzafrikanern in verstärktem Maße β -Aktivität auf. Als Ursache wurde der höhere Bildungsstand und soziale Status der weißen Bevölkerung Südafrikas angenommen.

¹ *G. K. Nelson* hatte für seine Untersuchung zwei repräsentative Stichproben ausgewählt, welche aufgrund ihres Umfangs und ihrer Zusammensetzung eine hohe Reliabilität garantierten (n 1 = 525 farbige Südafrikaner, darunter 251 Lokomotivführer, 89 Fabrikarbeiter, 58 Polizisten, 7 Akademiker; n 2 = 345 weiße Südafrikaner, darunter Studenten und Geschäftsleute.)¹

² Wörtlich heißt es: „... the EEG studies of different black and white groups have shown minor differences only, suggestive of ... a higher degree of emotionally motivated behaviour in blacks.“ (*G. K. Nelson Race, culture and brain function*, 1964, S. 11).

3. Die Versuchsgruppe der farbigen Afrikaner zeigte im Vergleich zur Kontrollgruppe von europäischer Abstammung einen signifikant höheren Anteil an α -Komponenten in frontalen Hirnarealen.¹

Zusammenhänge zwischen der *Sprache*, der *Kultur* und Verarbeitungsvorgängen in der Großhirnrinde hat der japanische Otologe T. Tsunoda aufgezeigt;² er setzt sich ausschließlich mit dem Aspekt der Hemisphärenspezialisierung (funktionale Differenzierung der cerebralen Hirnhälften, Lateralitätsproblematik) auseinander.

Tsunoda hat für seine Untersuchungen die sog. ‚key tapping method‘ gewählt: Probanden werden in einem auf der Grundlage von Rückkoppelungsschleifen (‚auditory feedback loop mechanism‘) und dichotischer Reizung entwickelten Versuchsdesign eigene Finger-Tipp-Impulse synchron und zeitlich verzögert via Kopfhörer vorgespielt, worauf diese stets mit einer Irritation in bezug auf den Finger-Tipp-Rhythmus reagieren. Dasjenige Ohr, welches in Verbindung mit der kontralateralen Hirnhälfte bei verzögert präsentierten und von der Schallstärke her intensivierten Sinuston-Impulsen am längsten ohne zu verzeichnende Fehler des Probanden in einem ‚key tapping-Durchgang‘ standhält, gilt im Vergleich zum anderen Ohr bzw. der anderen Hirnhälfte als ‚dominant‘.^{3,4}

In Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand (dichotische Präsentation von kulturspezifischen Reizen - Beobachtung einer möglichen Hemisphärendifferenzierung) wurde mit Tsunodas ‚key tapping method‘ folgendes Ergebnis erzielt:

Japanische Probanden verarbeiten den Vokal ‚a‘ sowie die ihnen vertrauten Instrumentalklänge (Shakuhachi Flöte) in der *linken* Hemisphäre; amerikanische Versuchspersonen aktivieren bei

¹ Mundy-Castle konnte die bei schwarzen Südafrikanern beobachtete Dominanz des α -Rhythmus in anterioren Hirnregionen durch EEG-Messungen in Ghana bestätigen: Bei erwachsenen ghanaischen Testpersonen (n = 144) ließ sich ein signifikant höherer ‚Alphareichtum‘ sowie ein signifikant geringeres Vorhandensein von β -Aktivität im Vergleich zu schwarzen und weißen Versuchsgruppen aus Südafrika nachweisen. Mundy-Castle deutet dieses Ergebnis als Ausdruck eines höheren Grades an psychophysiologischer Entspannung - ein Sachverhalt, der in verstärktem Maße auf Ghanaer, weniger aber auf Südafrikaner zutreffen soll.

² T. Tsunoda *The Japanese brain - uniqueness and universality*, 1985.

³ ausführlich ebd., S. 23ff.

⁴ Tsunodas ‚key tapping method‘ wie auch der von D. Kimura angewandte dichotische Hörtest (vgl. Fußnote 3 S. 50) basieren auf dem neuroanatomischen Faktum, daß mehrfach gekreuzte Verbindungen (ipsi- und kontralaterale Hörbahnen) von einem Ohr zum Temporallappen (Heschl'schen Gyrus) der gleichen und gegenüberliegenden Hirnhälfte führen. Findet eine dichotische Reizung statt, werden ipsilaterale Verbindungen stets unterdrückt; eine Impulsweiterleitung zum primären sensorischen Rindenfeld erfolgt ausschließlich durch kontralaterale Verknüpfungen (dazu z.B. K. R. Popper/J. C. Eccles *Das Ich und sein Gehirn*, S. 366ff).

der Perzeption des Vokals ‚a‘ vorwiegend die *rechte* Hemisphäre. Das Fazit: „... brain dominance patterns do differ between Japanese and Western people.“¹

Tsunoda erklärt diesen Sachverhalt mit der Besonderheit der japanischen Sprache, die im Unterschied zu anderen Sprachen eine Fülle von Ein-Vokal-Wörtern enthalten soll. Der Vokal ‚a‘ wird von japanischen Versuchspersonen deshalb als sprachliche Äußerung mit einem spezifischen semantischen Gehalt wahrgenommen und in der linken, ‚linguistischen‘ Hemisphäre verarbeitet. Tsunoda merkt hierzu an: „My investigations have suggested that the Japanese language shapes the Japanese brain function pattern, which in turn serves as a basis for the formation of the Japanese culture.“²

Probanden, die nicht-japanischer bzw. nicht-polynesischer Herkunft waren, haben den Vokal ‚a‘ hingegen als non-verbale Reiz klassifiziert und deshalb die auf die Verarbeitung von u.a. Gesang und Klangfarben in genere spezialisierte *rechte* Hirnhälfte aktiviert.

Als Erklärung für die mit großer Genauigkeit verlaufende Zuordnung von Stimulus-Input und der entsprechenden Hemisphäre nimmt Tsunoda die Existenz eines subkortikalen Schaltmechanismus an; es heißt diesbezüglich: „Findings by the key tapping method led to the notion that there is a switching mechanism at a subcortical level, which *automatically discriminates and distributes* external auditory stimuli to the one or the other cerebral hemisphere.“³

¹ T. Tsunoda *The Japanese brain*, Einleitungsteil.

² ebd., Vorwort S. VI. NB: Kolorierte ‚Hirnkarten‘ mit einer topographischen Verteilung von Aktivierungsmustern über dem Skalp, die auf der Grundlage von AEP-Amplitudendaten erstellt worden sind, bestätigen die von Tsunoda mittels ‚key tapping method‘ erhaltenen Resultate (ebd., Einleitungsteil).

³ T. Tsunoda a.a.O. S. 7, nicht kursiv im Original.

3.3.4. Perzeption und Apperzeption im Kulturvergleich - Formulierung einer statistischen Hypothese

Die ausführliche Beschäftigung mit ERP-Komponenten und der signal averaging-Methode (Kap. 1.2.), der Einblick in kulturvergleichende Forschungsbereiche sowie Überlegungen zum Stimulus-Material und zur Selektion von geeigneten Probanden haben, alles in allem, zu der folgenden *statistischen Hypothese* geführt:

H 1: Tonleitern von unterschiedlicher Struktur werden von deutschen, türkischen und indischen Musikern unterschiedlich wahrgenommen und kognitiv verarbeitet.
P300-Reaktionen von Teilnehmern der drei Kulturgruppen sind voneinander verschieden.

H 0: Tonleitern von verschiedener Struktur werden von deutschen, türkischen und indischen Musikern annähernd gleich wahrgenommen und kognitiv verarbeitet.
Teilnehmer der drei Kulturgruppen zeigen in ihren P300-Reaktionen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Das Überprüfen der Hypothese im experimentellen Teil der Arbeit wurde in zahlreichen Sub-Schritten realisiert. Das sukzessive Vorgehen war durch die - aus methodischer Sicht erforderliche - Auswertung von elektrophysiologischen Reaktionen *einzel*n für *jeden* Skalenton bedingt.

4. Der Versuch

4.1. Versuchspersonen

21 männliche Versuchspersonen (Vpn) - sieben deutsche, sieben türkische und sieben indische Musiker - nahmen in der Zeit vom 3. Oktober 1995 bis zum 6. Dezember 1995 im audiotechnischen Labor des Musikwissenschaftlichen Instituts der Universität Hamburg am ERP-Experiment teil.

Das Musikwissenschaftliche Institut wurde als ‚externe‘ Lokalität zum einen wegen der fehlenden Kooperation zwischen den Fachbereichen ‚Kultur‘ und ‚Medizin‘ / bzw. ‚Psychologie‘ gewählt, zum anderen aus Überlegungen heraus, ERP-Messungen bei gesunden Probanden außerhalb des klinischen Umfelds vorzunehmen.

Jede Einzelsitzung hatte eine Länge von zwei bis zweieinhalb Stunden, pro Vpn wurde eine Aufwandsentschädigung von 40 DM gezahlt.

Zwei Vpn aus jeder Gruppe zeigten Ergebnisse, die - zum Teil wegen häufiger Kurven-Drifts in den Einzeldurchgängen - in Hinblick auf eine visuelle und statistische Auswertung ungeeignet waren. Dieser Sachverhalt machte eine Reduktion des Stichprobenumfangs von $n = 21$ Vpn auf $n = 15$ Vpn (3 x 5 Vpn pro Kultur) erforderlich. Sämtliche der nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf diese neue Stichprobengröße.

Die Auswertung des Fragebogens, der einer jeden Testperson nach Abschluß der Messung vorgelegt wurde, lieferte folgende personenbezogene Daten:

Keiner der 15 Probanden hatte Hörmängel, die mittels Audiometrie¹ diagnostizierbar gewesen wären; auch hatte niemand von ihnen zuvor an einem EEG- oder ERP-Experiment teilgenommen. Das Durchschnittsalter der deutschen Probanden war 25,3 Jahre (SD²: 2,67), das der türkischen Probanden 30,1 Jahre (SD: 5,79) und das der indischen Versuchspersonen 37,3 Jahre (SD: 8,13).

¹ Prüfung des Gehörs mit elektroakustischen Hörmeßgeräten (Audiometern), um die Hörschwellen für Sinustöne zu bestimmen; Audiometer sind Tonfrequenzgeneratoren, die Sinustöne bestimmter Frequenz und Amplitude erzeugen vgl. M. Rieländer *Lexikon der Akustik*, Stichwort ‚Audiometer‘, S. 36.

² Abkürzung für das Streuungsmaß ‚Standardabweichung‘ (standard deviation).

Zwölf Probanden waren - den Angaben zufolge - am Versuchstag in guter Verfassung (vier Probanden bezeichneten sich als „hellwach/top-fit“ bzw. „gutgelaunt“, acht Probanden beurteilten ihren psychischen Zustand als „ruhig/ausgeglichen“). Drei Versuchsteilnehmer fühlten sich am Tag der Messung „erschöpft“ und „abgespannt“. Die Selbsteinschätzung des aktuellen Befindens erfolgte anhand von sieben Adjektivgruppen, in denen jeweils zwei bis drei Adjektive ähnliche Stimmungslagen bezeichneten.¹ Keiner der Probanden hatte Probleme mit übermäßigem Alkohol-, Drogen- oder Medikamentenkonsum; neun Teilnehmer hatten am Versuchstag Nikotin und/oder Kaffee in Maßen zu sich genommen.

Neun Probanden gaben an, daß sie sich während des ERP-Experiments durchgängig hätten konzentrieren können. Fünf Versuchspersonen waren während der 40minütigen Meßzeit nach eigenen Angaben phasenweise unkonzentriert. Zehn der 15 Probanden konnten die doppelte Aufgabenstellung (Zählen der abweichenden Tonleitern / Erfassen und Aufzeichnen des Skalenbaus, vgl. S. 142f) offenbar mühelos bewältigen. Die übrigen fünf Versuchspersonen empfanden die geforderte Aufgabenstellung als zu „komplex“.

¹ Als Muster für die verwendeten Adjektiv-„check lists“ zur eigenen Bewertung der momentanen psychischen Verfassung dienten Persönlichkeitstests zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit (Beispiele: „Befindlichkeits-Skala“ von v. Zerssen (1976); „Eigenschaftswörterliste“ von Janke und Debus (1977)).

Kurz-Biographie der 15 Versuchsteilnehmer, deren Meßergebnisse in der statistischen Auswertung berücksichtigt wurden:

Deutsche Vpn:

O.S.: 25 Jahre alt, Dirigentschüler Musikhochschule Hamburg, Abitur, erster Klavierunterricht mit sieben Jahren, Relativhörer¹, keine Beschäftigung mit außereuropäischer Musik, Rezeption von E-Musik: 20 bis 30 Wochenstunden ohne Bevorzugung eines speziellen Genres.

M.S.: 29 Jahre alt, externer Dirigentschüler, Abitur, erster Klavierunterricht im Alter von acht Jahren, Relativhörer, keine Auseinandersetzung mit Musiktraditionen außerhalb Europas, Klassik-Hörer (14 Stunden pro Woche).

A.M.: 27 Jahre alt, Dirigentschüler Musikhochschule Hamburg, Abitur, Klavierunterricht seit dem siebten Lebensjahr, Relativhörer, keine Beschäftigung mit Musik der verschiedenen Ethnien, 20 Hörstunden „Klassische Musik“ in der Woche.

F.K.: 22 Jahre alt, Dirigentschüler Musikhochschule Hamburg, Abitur, Klavierunterricht seit dem siebten Lebensjahr, Relativhörer, kein Kontakt mit der Musik von „non-westeners“.

M.K.: 21 Jahre alt, Pianisten-Ausbildung an der Musikhochschule Hamburg, Abitur, erster Klavierunterricht mit neun Jahren, Relativhörer, hört Samba und Tango (gelegentlich) sowie E-Musik ohne spezielle Ausrichtung (zehn Wochenstunden).

Türkische Vpn:

H.Y.: aus Sivas (Mittelanatolien), 20 Jahre alt, lebt seit 18 Jahren in Deutschland, Mitglied in einem Saz²-Amateur-Ensemble, Abiturient, erstes Saz-Spiel mit zehn Jahren, Absoluthörer (eigene Angabe), spielt kein europäisches Musikinstrument, hört acht Wochenstunden Rock, Pop, Funk und Jazz sowie zehn Wochenstunden türkische Volksmusik.

E.Al.: aus Istanbul, 39 Jahre alt, seit 15 Jahren in Deutschland ansässig, Chorleiter für türkische Volksmusik, Mitglied eines Saz-Amateur-Ensembles (vgl. H.Y.), Schulabschluß dem Abitur entsprechend, erster Saz-Unterricht mit 19 Jahren, vorher Gitarrenunterricht, Absoluthörer (eigene Angabe), war in seiner Heimat keinen westlichen Musikeinflüssen ausgesetzt, hört nun fortwährend Rock- und Pop-Musik im Radio.

¹ Die Dichotomie „Absoluthörer vs. Relativhörer“ ist aus Sicht der *Musikpsychologie* eine stark vereinfachte und damit ungenaue Klassifikation (detailliert hierzu z.B. Kap. 2.2.6. „Typologien des Tongehörs“ in: E.-M. Heyde *Was ist absolutes Hören?*). In *psychophysiologischen* Arbeiten zu diesem Thema wird diese Grundteilung dennoch aufrechterhalten (vgl. Barnea et al., 1994, Hantz et al., 1992, Tervaniemi et al., 1993). Da die Auswahl der Vpn in der vorliegenden Arbeit unter kulturspezifischem Aspekt erfolgt ist, und neurophysiologische Korrelate dieser besonderen Hörfähigkeit nicht Gegenstand der Untersuchung waren, wurde das binäre Begriffspaar „absolutes / relatives Gehör“ für die Probanden-Charakteristik beibehalten und auf ein Überprüfen der Angaben mittels Hörtest verzichtet. Überdies hat die visuelle Auswertung der ERP-Kurven in meiner Untersuchung gezeigt, daß sich die P300-Komponenten von Absolut- und Relativhörern weder in der Latenzzeit noch in der Amplitudenausprägung signifikant voneinander unterscheiden. Der Aspekt des Absolut- bzw. Relativhörens mit seinen möglichen bioelektrischen Korrelaten wird im Verlauf der Arbeit deshalb nicht weiter aufgegriffen.

²türkische Langhalslaute mit gewöhnlich drei Saiten, davon zwei chorisch (2 x 2), die höchste einfach.

E.Ar.: aus Istanbul, 35 Jahre alt, seit neun Jahren in Deutschland, professioneller Saz- und Ud¹-Spieler, nebenher Tontechniker, Abschluß am Konservatorium Istanbul (türkische Musik), Hauptinstrumente: Saz, Ud¹, vergleichbarer Realschulabschluß, Saz-Unterricht vom 17. Lebensjahr an, Absoluthörer eigene Angabe, bereits in der Türkei Kontakt mit Pop und klassischer europäischer Musik, heute Rezeption von Pop und türkischer Volksmusik (Relation 1 : 4).

N.D.: 28 Jahre alt, vor 15 Jahren eingewandert, Mitglied des Saz-Amateur-Ensembles (s.o.), vergleichbarer Hauptschulabschluß, Beginn des Saz-Spiels mit 17 Jahren, Absoluthörer (eigene Angabe), auch heute ausschließlich Rezeption von türkischer Volksmusik (zehn Wochenstunden).

Y.C.: 26 Jahre alt, lebt seit 15 Jahren in Deutschland, Mitglied des Saz-Amateur-Ensembles (s.o.), vergleichbarer Realschulabschluß, erster Saz-Unterricht mit elf Jahren, Relativhörer, beherrscht kein europäisches Musikinstrument, hört drei Wochenstunden Pop sowie 18 Wochenstunden Folklore und die klassische Musik der Türkei (türkische Kunstmusik).

Indische Vpn²

S.B.: aus Kalkutta, 32 Jahre alt, einige Wochen zu Besuch in Hamburg, professioneller Tablâ³-Spieler und -Lehrer, Instrumente: Tablâ, Harmonium, Tanpura⁴, Absoluthörer (eigene Angabe), spielt selbst kein europäisches Musikinstrument, tritt jedoch in der Duo-Besetzung Tablâ/Flamenco-Gitarre auf, hört die traditionelle Musik Nord- und Südindiens.

R.Sen.: aus Kalkutta, 26 Jahre alt, auf Konzerttournee durch Deutschland, Sarod⁵-Spieler, Master of Arts in klassischer indischer Musik (Rabindra Bharathi University, Kalkutta), Instrumente: Sarod, Tablâ, Dotara⁶, Schulabschluß dem Abitur entsprechend, erster Sarod-Unterricht mit 17 Jahren, vorher Unterricht im Mandolinen-Spiel, Absoluthörer (eigene Angabe), hört klassische indische Instrumentalmusik und westliche E- / U-Musik im Verhältnis 3:1.

T.S.: aus Westbengalen, 54 Jahre alt, lebt seit 30 Jahren in Deutschland, Sänger, vergleichbare „Mittlere Reife“, Gesangsunterricht in Indien und Deutschland, Relativhörer, spielt kein europäisches Musikinstrument, hört vier Wochenstunden Rock und Pop sowie eine Wochenstunde klassische indische Musik.

¹ Lautenform der Türkei mit 13 Spielsaiten, sechs davon in doppelchörigem Bezug.

² Die Gruppe der indischen Musiker zeigte die geringste strukturelle Übereinstimmung, sowohl in bezug auf den Faktor „Aufenthaltsdauer in Deutschland“ als auch hinsichtlich der Variablen „Alter“ und der Wahl des Hauptinstrumentes. Die Inhomogenität ist auf die Schwierigkeiten zurückzuführen, selbst in einer multikulturell geprägten Großstadt wie Hamburg geeignete ausländische Musiker ausfindig zu machen, die den aufgeführten Merkmalen entsprechen.

³ Membranophon-Paar aus Nordindien: eine einfellige Trommel (die eigentliche Tablâ) und eine kleine Pauke (Bâyâ).

⁴ große indische Laute mit Kalebassenkorpus, aufrecht oder horizontal gehalten. Sie ist ein Begleitinstrument zu anspruchsvoller Vokalmusik oder Musik für Saiteninstrumente, es klingen vier leere Metallsaiten.

⁵ nordindisches Chordophon mit vier Melodie-, sechs Bordun- und ungefähr 15 Resonanzsaiten, einige Formen haben einen kleinen Kalebassen-Resonator auf der Rückseite.

⁶ Langhalslaute, persisch: dotar („Zweisaiter“).

R.Sel.: aus Sri Lanka, 40 Jahre alt, seit 13 Jahren in Deutschland ansässig, berufsmäßiger Tablâ- und Mridangam¹-Spieler, Abschluß an einer Musikhochschule in Madras, College-Ausbildung in Sri Lanka, Beginn des Mridangam-Spiels im Alter von acht Jahren, Absoluthörer (eigene Angabe), hat in seiner Heimat Werke der Wiener Klassik kennengelernt, plant heute drei Wochenstunden für die Rezeption von E-Musik sowie 14 Wochenstunden für das Hören von klassischer Musik aus Nord- und Südindien ein.

P.S.: aus Kalkutta, 32 Jahre alt, auf der Durchreise, professioneller Tablâ-Spieler, erster Tablâ-Unterricht mit sieben Jahren, Relativhörer, westliche E- und U-Musik sind bekannt, hört vier bzw. 15 Wochenstunden ‚westliche‘ resp. Sitar-Musik.

4.2. Das Tonmaterial

Vier heptatonische Skalen - jede von ihnen mit spezifisch-strukturellen Eigenheiten - lagen als Reizmaterial auf Digital Audio Tape (DAT-Cassette) vor: die ‚europäischen‘ Tonleitern ‚Dur‘ und ‚harmonisch Moll‘, außerdem die ‚äquidistante thailändische Skala‘ sowie der ‚makam Hicaz‘ der klassischen türkischen Musik.² Sie wurden mono vom DAT-Recorder der Marke ‚Sony‘ über *einen* Kanal des Stereo-Ausgangs präsentiert und der Versuchsperson jeweils binaural per Kopfhörer dargeboten.³

Die vier Leitern sind durch folgende aufsummierte Cent-Werte definiert:⁴

Stufe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Dur Cent-Werte aufsummiert (Summenreihe ⁵)	0	200	400	500	700	900	1100	1200
harmonisch Moll (Summenreihe).	0	200	300	500	700	800	1100	1200
makam Hicaz (Summenreihe)	0	114	385	499	703	883	997	1201
Thai-Skala (Summenreihe)	0	171,4	342,8	514,2	685,6	857	1028,4	1199,8

¹ klassische Trommel Südindiens, etwa 60 cm lang, zweifellig, horizontal gespielt; verschiedener Korpusdurchmesser an beiden Enden (asymmetrisches Konstruktionsprinzip).

² vgl. Anmerkung auf S. 121f der vorliegenden Arbeit.

³ Das Skalengerüst als solches war sämtlichen Probanden aus beiden ‚non-westener‘-Gruppen vertraut. Einige türkische Musiker machten auf die in ihrer Kunstmusik spielpraktisch größere Bedeutung von Melodiefloskeln im Vergleich zu Tonleitermodellen aufmerksam. Zwei indische Probanden wiesen außerdem auf die traditionelle Kopplung von auf- und abwärtsgerichteten Bewegungsformen einer Tonleiter in der indischen Aufführungspraxis hin (genannt: âroha und avâroha). Diese Auf- /Ab-Kombination ist in der nord- und südindischen Musik ebenso gebräuchlich wie die minimalen Ausschmückungen bzw. Umspielungen einzelner Skalentöne im mikrotonalen Bereich (sog. gamakas); vgl. Signell *Makam: modal practice*, S. 125ff sowie Jairazbhoy *The rags of North Indian Music*, S. 35 bzw. 38f.

⁴ Für die Tonerzeugung war ein Umrechnen in entsprechende Frequenzwerte nicht erforderlich; bei Bedarf ist die *Centstabelle* von Kurt Reinhard (1976) nützlich.

⁵ Terminus vgl. O. Abraham/E. M.v. Hornbostel ‚Vorschläge für die Transkription exotischer Melodien‘ in: E. M. v. Hornbostel *Tonart und Ethos*, S. 146.

In herkömmlicher Notenschrift:

Dur

harm.
Moll

makam
Hicaz

Thai-Skala

The image displays four musical staves. The first staff, labeled 'In herkömmlicher Notenschrift:', shows a scale in G major (Dur) with notes G, A, B, C, D, E, F#, G. The second staff, labeled 'harm. Moll', shows the same scale in G minor (harm. Moll) with notes G, A, B, C, D, E, F, G. The third staff, labeled 'makam Hicaz', shows a scale starting on A (Anfangston hier: a') with notes A, B, C, D, E, F, G, A, and a flat symbol 'b' above the G note. The fourth staff, labeled 'Thai-Skala', shows a scale with notes G, A, B, C, D, E, F#, G, and arrows indicating the direction of the notes.

Der Schalldruckpegel betrug 75 dB(A) konstant für jeden Leiterton, konnte vom Probanden jedoch individuell auf eine angenehme Lautstärkeempfindung eingestellt werden. Jede dieser vier Skalen setzte identisch mit dem Ton h^6 (493,88 Hz) ein, der als Anfangstonhöhe willkürlich festgesetzt wurde.

Jeder der 32 Leitertöne (4x8) wurde zuvor auf einem programmierbaren Synthesizer (JD 800) der Firma Roland generiert und gespeichert, und überdies der sustain-Anteil einer jeden Hüllkurve auf einem Macintosh-PC 7100/66 AV mit der Schnitt-Software „Sound Designer 2“ den Versuchsvorgaben entsprechend „gekappt“.

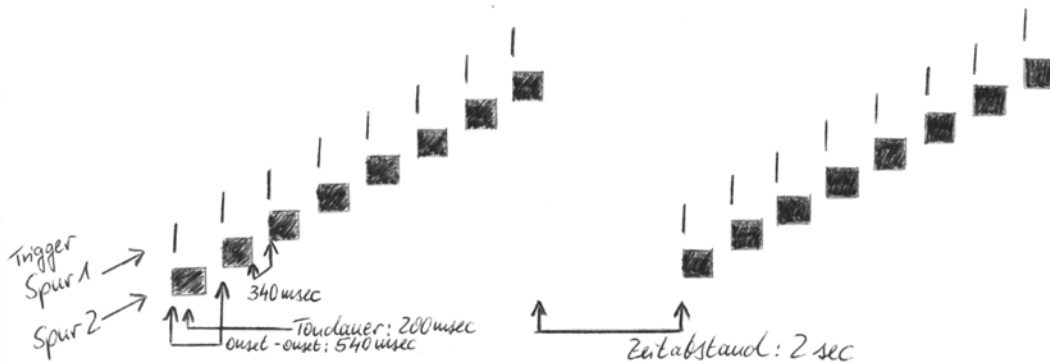
Jedem Ton lag eine Puls-Schwingung¹ zugrunde, als Wellenform wurde die Analog-Synthesizer-Pulswelle „SynPulse2“² aus dem Sound-Katalog des JD 800 gewählt. Beim Erstellen der Skalentöne war ein präzises Einhalten der Cent-Werte durch die „pitch-coarse“- und „pitch-fine“-Regler des JD 800 möglich. Die Tondauer jedes Einzeltons betrug 200 msec (in Hüllkurven-Angaben: attack time: 15 msec, sustain level: 155 msec, release time: 30 msec). Jeder darauffolgende Leiterton setzte mit einem zeitlichen Abstand von 340 msec ein, so daß das Interstimulus-Intervall (onset to onset, vgl. Skizze S. 139) 540 msec umfaßte. Die Gesamtlänge

¹ Die herkömmliche Pulsschwingung enthält alle harmonischen Teilschwingungen mit Amplitudenwerten, die vom jeweiligen Pulsbreitenverhältnis abhängen (vgl. B. Enders *Lexikon Musikelektronik*, Stichwort: „Pulsschwingung“, S. 183).

² Die Schwingungsform „Syn Pulse 2“ wurde keiner näheren Fourier-Analyse unterzogen.

eines Skalendurchlaufs betrug somit $8 \times 540 \text{ msec}$, zwischen den einzelnen Durchgängen wurde ein Zeitabstand von 2 sec eingehalten. Derart ‚präparierte‘ Skalen wurden dann in endgültiger Block-Anordnung (vgl. S. 141) auf das Digital Audio Tape überspielt.

Skizze



4.3. Apparatur und Versuchsanordnung

Vom 1. August 1995 bis zum 30. April 1996 stand ein papierloses Viel-Kanal-EEG-Gerät (PL-EEG) der Firma Walter Graphtek GmbH, Bad Oldesloe¹, für die Aufzeichnung und Verarbeitung der EEG-Signale zur Verfügung.

Das Meß-Gerät hatte 21 Kanäle; pro Kanal konnten EEG-Wellen im Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 140 Hz - bei einer Digitalisierungsrate von 667 Hz - registriert werden. Für sämtliche Elektrodeneingänge galt ein Verstärkungsgrad von 20000; eingesetzt wurden Instrumentationsverstärker mit abgesetzter Referenzelektrode.

Das EEG-Gerät war ferner mit einer 300 MB-Festplatte und einem Laufwerk für Magneto-Optische Datenträger (3,5“, 230 MB) ausgestattet; sowohl EEG-Rohdaten als auch sämtliche EP-Kurven wurden in einem eigenen Daten-Format gespeichert.

Um gemittelte ereigniskorrelierte Potentiale erstellen zu können, hatte die Firma Walter Graphtek im vorhandenen PL-EEG-Gerät eine Signalaufbereitung in zwei Stufen vorgesehen: Schritt eins bestand im Registrieren der Roh-EEG-Kurven (Spontanaktivität plus davon überlagerte ereigniskorrelierte Potentiale) *simultan* zu den einzelnen Tonleiterdurchgängen. Schritt

¹ jetzt Lübeck

zwei war ein off-line-Procedure, um ereigniskorrelierte Aktivität aus dem Rauschen der Spontanaktivität mit Hilfe der konventionellen Mittelungstechnik zu extrahieren.

Zu diesem Zweck war im Gerät ein Tiefpaßfilter eingebaut. Es senkte den Spontananteil der hirnelektrischen Aktivität über einen Zwischenschritt - die Segmentierung des EEG-Rohsignals¹ - nahezu vollständig ab, so daß das reizkorrelierte, akustisch evozierte Potential schließlich für jeden Skalenton als gemittelte Einzelkurve vorlag.

Die installierte EP-Software war dabei ausschließlich auf die Mittelung von *Einzel*durchgängen, gesondert für jeden Skalenton und Versuchsteilnehmer zugeschnitten. Das erforderliche grand average² für jede der drei Probanden-Gruppen mußte deshalb extern am Rechenzentrum der Universität mit Hilfe des SPSS-Basisprogramms erstellt werden.

Um die elektrophysiologischen Reaktionen auf einen jeden Skalenton exakt vom Zeitpunkt des ‚attack‘ bis zur ‚release time‘ erfassen zu können, mußte der Start der EEG-Aufzeichnung mit dem Beginn eines jeden vorgespielten Leitertons gekoppelt, d.h. ein Gleichlauf von Signalquelle und PL-EEG hergestellt werden.

Diese Synchronisation wurde mit einem Schmitt-Trigger³ realisiert, der Bestandteil einer Steck-Schaltung zwischen der zweiten Ausgangsbuchse des DAT-Recorders und dem EEG-Gerät war. Als Triggersignal diente ein steilflankig, von 5V nach 0V abfallender Spannungs-Impuls (Dauer: 11msec). Er wurde mit einem Vorlauf von 6 bis 8 msec auf der zweiten Spur des DAT-Bandes einzeln für jeden Skalenton gesetzt (das Tonmaterial war auf Spur1 gespeichert).⁴

Die Spannungs-Impulse waren - via Schmitt-Trigger - dann als Markierungen auf dem Monitor des PL-EEG-Gerätes sichtbar und wurden mit den EEG-Rohdaten auf den magneto-optischen Datenträgern abgespeichert.

¹ Ein automatischer Vorgang, bei dem die Strecke des EEG-Rohsignals in Abschnitte von konstanter Intervalllänge unterteilt wird. Der Bildschirm ist nach Anzahl der angeschlossenen Elektroden ‚parzelliert‘; pro ‚Fensterchen‘ lag das Roh-EEG als 540 msec-Ausschnitt vor; entsprechend viele Bildschirmseiten mußten ‚durchgeblättert‘ werden, um den gesamten EEG-Verlauf einer Aufzeichnung zu erhalten.

² auch ‚Summenkurve‘ genannt: Ergebnis eines *gruppenweisen* Mittelungsvorgangs; in sich homogene Registrier-Abschnitte von *mehreren* Vpn werden zu einem einzigen Potentialverlauf zusammengefaßt.

³ allgemeine Definition: elektronischer Wandler zum Herstellen von rechteckförmigen Steuerspannungen; beliebige Eingangssignale werden zu frequenzgenauen Rechtecksignalen oder -impulsen umgeformt, die ihrerseits andere Vorgänge steuern können. Die Phasenlage zwischen Ein- und Ausgangssignal ändert sich nicht (vgl. K.H. Huber *Sonderschaltungen der NF-Technik Bd. II*, Schaltung 21 ‚Rechteckgeneratoren‘, S. 56 - 59).

⁴ Ton-Trigger-Abstand zwischen Spur 1 und Spur 2 und Beschaffenheit des Trigger-Signals wurden von Tonmeister Andreas Hübner im Tonstudio der Hochschule für Musik Hamburg überprüft.

Die eigentliche **Versuchsanordnung** orientierte sich am sog. „oddball-Paradigma“, dem Standard-Paradigma zur Messung der P300-Komponente (vgl. S. 27ff). Modifikationen betrafen lediglich das Stimulusmaterial, da Achtton-Sequenzen (Tonleiterfolgen) anstelle von Einzelreizen verwendet wurden.

Im Versuch wurden jedem Probanden fünf Skalenblöcke präsentiert. Jeder Block bestand aus 60 Tonleitern, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.75 zu 0.25 in Standard- und Deviant-Skalen untergliedert waren. Das entspricht einer Aufteilung von 45 zu 15 Skalen. Die Deviant-Skalen wurden nach dem Zufallsprinzip („pseudo-random manner“¹) in das „Grundraster“ der Standard-Leitern eingefügt. Dabei ist die unmittelbare Aufeinanderfolge zweier devianter Skalen als Gruppierungsvariante vermieden worden, um mögliche Habituationseffekte² - verbunden mit einer geringeren Amplitudenausprägung - auszuschließen.³

Folgende Block-Anordnung wurde gewählt (gleiche Reihenfolge für jeden Probanden):

Block	Standard-Skala	Deviant-Skala
1	Dur	Thai
2	Dur	harmon. Moll
3	makam Hicaz	Thai
4	Dur	makam Hicaz
5	Thai	Dur

Jeder Tonleiter-Block hatte eine Länge von 7‘20“ und wurde aus Gründen der „Faßlichkeit“ in zwei Halb-Blöcken - mit einer Pause von 30 Sekunden - präsentiert.

Die Gesamt-Beschallungszeit für jede Vpn betrug damit 36‘40“.

¹ M. Besson/F.Macar „An event-related potential analysis...“ *Psychophysiology* 24, S. 17.

² „Dämpfung oder Hemmung einer Reaktion durch den Einfluß der Gewöhnung an [die Art des] auslösenden Reizes“ (*dtv Wörterbuch zur Psychologie*, S. 168 Stichwort „Habituation“).

³ In einigen Versuchsanordnungen ist es üblich, den Beginn eines Trials (hier: eines Skalendurchgangs) mit einem Warnreiz anzukündigen (vgl. Besson/Macar, S. 15 f). Ein vorgeschaltetes Warnsignal ist zugleich aber auch Teil des Standardparadigmas zur Untersuchung von langsamen Potentialen (CNV, vgl. S. 33f, diese Arbeit). Ich habe in meiner Untersuchung auf den Einsatz von derartigen Warnreizen verzichtet, um mögliche Überlappungen von langsamen und endogenen Potentialen zu vermeiden.

4.4. Versuchsdurchführung (allgemeiner Versuchsablauf)

Jeder Versuchsteilnehmer wurde gebeten, im elektrisch und akustisch abgeschirmten Regieraum (audiotechnischen Labor) des Musikwissenschaftlichen Instituts auf einem Bürosessel Platz zu nehmen und sich zu entspannen.¹

Die Vpn wurde aufgefordert, den Blick während der EEG-Ableitung auf eine Zeichnung mit vier ineinander geschachtelten Quadraten (DIN A3) zu richten, die in einem Abstand von zwei Metern auf eine Leinwand geheftet war. Die Gesichtsmuskulatur sollte in den Aufzeichnungsphasen locker bleiben, Bewegungen des Kopfes vermieden werden.

Die indischen Vpn waren aufgrund ihres traditionellen Hörverhaltens von der Blickfixations-Anweisung ausgenommen. In der sind es gewohnt, Musik mit *geschlossenen* Augen zu rezipieren. Das Ruhigstellen der (geöffneten) Augen bei gleichzeitiger Tonpräsentation - wie ursprünglich in der Untersuchung vorgesehen - bereitete ihnen offensichtlich große Mühe, so daß in den ersten Minuten der Aufzeichnung unangemessen viele Lidschlag-Artefakte (dazu S. 150f) auftraten. Für die indischen Probanden wurden die Instruktionen daher abgeändert, ihnen wurde die Tonleiter-Perzeption bei geschlossenen Augen gestattet.

Pro Versuchsblock bestand die eigentliche Aufgabe im bewußten, genauen Durchhören der 60 Skalen, die sich jeweils aus 45 Standard- und 15 Deviant-Leitern zusammensetzten. Das Zuhören wurde mit einer Doppelaufgabe kombiniert, um die Aufmerksamkeit der Probanden konstant zu halten. Sie bestand a) aus dem stillen Zählen der *devianten* Tonleitern - so, wie es das ‚oddball-Paradigma‘ vorsieht und b) aus der Perzeption des Binnenaufbaus von Standard- und Deviant-Leiter. Die Anzahl der wahrgenommenen devianten Tonleitern (Punkt a) war nach jedem Halb-Block zu notieren. Die Struktur beider Skalen (Punkt b) sollte hingegen erst nach dem vollständigen Ablauf eines Versuchsblocks skizziert werden. Die Form der Skalenaufzeichnung wurde den Probanden freigestellt; gestattet war a) der Einsatz von herkömmlicher Notation einschließlich sämtlicher Akzidentien, b) der Gebrauch von Solmisationssilben (do bis si) bzw. der indischen Nomenklatur (sa bis ni), jeweils mit eindeutigen Zusatzzeichen sowie c) die Verwendung von kleinen waagerechten Strichen, mit denen wahrgenommene differierende Sekundabstände graphisch so genau wie möglich wiedergegeben werden sollten.

¹ Nackenrolle und Fußschemel standen wahlweise zur Verfügung.

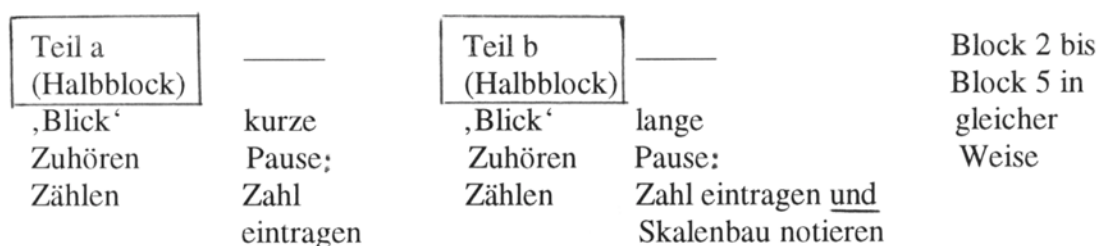
Zu Beginn der Untersuchung wurde die Vpn anhand von detaillierten Einführungs- und Instruktionbögen über das EEG und das Ableitungsprocedere im allgemeinen sowie über die konkrete Aufgabenstellung in Kenntnis gesetzt, erhielt jedoch keinerlei Informationen, die den kulturvergleichenden Untersuchungsansatz bzw. das Verwenden von Skalen aus dem musikethnologischen Bereich betrafen. Zielsetzung war, eine möglichst unvoreingenommene Perzeption des Skalenmaterials zu erreichen.

Nach Abschluß der Registrierphase wurde vom Probanden das Benennen resp. Klassifizieren der Tonleitern erbeten; hierzu war ein Fragebogen auszufüllen. Er enthielt außerdem Teilfragen zum Versuchsablauf, zur aktuellen Befindlichkeit, zu Herkunft, Schulbildung, Hörgewohnheiten sowie zur musikalischen Ausbildung der Versuchsteilnehmer.¹

Zu Beginn des ERP-Experiments gab es für jede Versuchsperson einen Probe-Durchlauf mit einer kompletten Testeinheit von 60 Tonleitern. Er hatte die Funktion, den Versuchsablauf kennenzulernen und diente der Vpn außerdem zur Koordination von Blickfixation und Höraufgaben. EEG-Antworten aus dieser Testphase wurden nicht gespeichert.

Versuchsaufgaben und -anweisungen sollen anhand einer Skizze veranschaulicht werden, welche auch Bestandteil des Anleitungsbogens war (der Fragebogen sowie das vollständige Informations- und Instruktionmaterial sind im Anhang abgedruckt²):

Block 1



¹ Die personenbezogenen Angaben sind bereits im Abschnitt 4.1. aufgeführt worden.

² Fragebogen, Informations- und Instruktionmaterial lagen in deutscher und englischer Sprache vor.

4.5. Anmerkungen zum Pretest:

Im audiotechnischen Labor des Musikwissenschaftlichen Instituts wurde in der Zeit vom 14. August 1995 bis zum 12. September 1995 ein (vergüteter) Vorversuch mit einer Stichprobe von acht Probanden durchgeführt, um die „Praktikabilität aller Bestandteile des Untersuchungsplanes“¹ zu überprüfen und das Versuchsdesign aufgrund von empirischen Befunden (elektrophysiologischen Reaktionen) gegebenenfalls zu modifizieren.

Anders als im Hauptversuch war die Homogenität der Gruppe in bezug auf die Faktoren ‚Nationalität‘ und ‚Geschlecht‘ von nur untergeordneter Bedeutung; dennoch sollten die Vpn ausnahmslos Musikstudenten sein (sieben männliche Probanden deutscher und russischer Herkunft (Hauptfach ‚Klavier‘ oder ‚Schulmusik‘) sowie eine Klavierstudentin aus Rußland nahmen teil).

Folgende Bestandteile der Versuchsanordnung wurden systematisch variiert:

1. das *Tonleitermaterial* an sich - unter dem Aspekt der Struktur und der Klangfarbe. Verwendet wurden synthetisch hergestellte Pulstöne sowie zurechtgeschnittene (‚natürliche‘) Klavier-, Ud- und Geigentöne (korrekter: Geigenklänge; Tondauer: jeweils 200 msec). Vier Versuchsblöcke wurden zusammengestellt (für den Hauptversuch ist die Anordnung abgeändert und um eine zusätzliche Variante erweitert worden).

Standard- / Deviant-Skalen:

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Dur-Thai | (synthetisch generierte Pulstöne) |
| 2. Dur-Moll | (synthetisch generierte Pulstöne) |
| 3. Dur-makam Hicaz | (eingespielt auf Klavier bzw. Ud) |
| 4. Dur-Dur (dieselbe Tonart) | (Instrumente: Klavier bzw. Geige) |

Block drei offerierte Komplexreize, da sich die Standard- und Deviantskalen sowohl in der Leiter-*Struktur* (Dur / makam Hicaz) als auch in der instrumententypischen *Klangfärbung* (Klavier, Ud) voneinander unterschieden. In Block vier wurde ausschließlich der Effekt von verschiedenen Klangfarben (eingespielte und gespeicherte ‚natürliche‘ Klavier- und Geigen-

¹ L. und H. Sprung *Grundlagen der Methodologie...*, S. 333.

Sounds) bei gleicher Binnenkonstruktion der Standard- und Deviant-Skalen (jeweils Dur) geprüft.

Anordnung 1 und 2 (Dur-Thai und Dur-Moll, synthetisches Material) wurden zwei Versuchsteilnehmern vorgespielt; drei Probanden bekamen die ‘natürlichen’ Dur-makam-Tonleitern (im Timbre ‘Klavier’ und ‘Ud’, Block 3) sowie ein Proband die ‘natürlichen’ Dur-Dur-Skalen (Klavier- vs. Geigensound, Block 4) zu hören.

Verändert wurde außerdem:

2. die *Darbietungs-Häufigkeit* von Standard- und Deviant-Skalen in Blöcken mit synthetisch erstellten Tönen (Dur-Thai und Dur-Moll) bei einer Gesamtanzahl von 50 Skalen pro Block (im Hauptversuch erhöht auf 60 Tonleitern). Verwendet wurde a) die klassische ‘oddball’-Aufteilung mit 80% Standard- und 20% Deviant-Skalen (konkret: 40 Standard- und 10 Deviantleitern) sowie b) Standard-Deviant-Skalen im Verhältnis von 50 zu 50 (25 ‘same’- und 25 ‘different’-Leitern je Block). Punkt b) schaltete somit den Einfluß der objektiven Präsentationswahrscheinlichkeit aus, um eine mögliche Konfundierung der inhaltlich-strukturellen Komponente mit der Variablen ‘Häufigkeit’ zu vermeiden. Jeweils zwei Probanden wurden die Skalenblöcke Dur-Thai und Dur-Moll a) mit einer Stan-Dev-Relation von 0.8 : 0.2 bzw. b) von 0.5 : 0.5 vorgespielt.

Getestet wurde weiterhin

3. die *Art der Aufgabenstellung*, mit dem Ziel, die Aufmerksamkeit der Testperson in der Hörphase konstant zu halten. Drei Probanden erhielten die Anweisung, die devianten Skalen eines jeden Tonleiterblocks still für sich zu zählen - so, wie es in vielen Versuchsdesigns zur P300-Komponente üblich ist. Drei andere Vpn sollten ausschließlich auf die Struktur der Standard- und Deviant-Leitern achten und diese nach Ende eines jeden Blocks in Notenschrift aufzeichnen. Beide Instruktionsarten wurden im Hauptversuch kombiniert, da einige Probanden auf die offensichtlich zu geringe mentale Auslastung bei nur einer Aufgabenstellung hinwiesen.

Überprüft wurde ferner

4. die *Replizierbarkeit der ERP-Ergebnisse*: Fünf Probanden nahmen nach einer ersten Datenaufzeichnung (und einer zehn-minütigen Pause) an einer Wiederholungsmessung teil, um Aussagen über die Zuverlässigkeit des Versuchsdesigns und seiner empirischen Umsetzung zu erhalten. Die sog. „Re-Test-Methode“¹ war für drei der vier Tonleiterblöcke und jeweils beide Varianten der Darbietungswahrscheinlichkeit in Gebrauch (0.8 : 0.2 sowie 0.5 : 0.5): Drei Vpn hörten Block eins und zwei noch einmal (zwei Probanden in der 0.8 : 0.2-Wahrscheinlichkeitsform sowie eine Vpn mit einer Darbietungshäufigkeit von 50% Standard- zu 50% Deviant-Skalen). Zwei Probanden wurde der „natürliche“ Skalenblock „Dur gegen makam Hicaz“ (Klavier- und Ud-Töne) ein zweites Mal präsentiert (Stan-Dev-Präsentationsrate hier ausschließlich 0.8 : 0.2).

Im Pretest ist auf das Mitteln von vergleichbaren Potentialverläufen in Form von „grand averages“ über *sämtliche* Probanden hinweg verzichtet worden. Für den tonweisen Vergleich wurden somit ausschließlich (gemittelte) ERP-Kurven von *einzelnen* Probanden herangezogen.

¹vgl. L. und H. Sprung (*Grundlagen der Methodologie und Methodik der Psychologie*, S. 177f): „Stabilitätsprüfungen erfolgen mit der Re-Test-Methode. Die **Stabilität** stellt die zeitbezogene Reliabilitätsform dar, die durch den Grad der Übereinstimmung zwischen Erstmessung und Wiederholungsmessung mit demselben Verfahren unter denselben Randbedingungen an derselben Stichprobe definiert ist (Re-Test-Methode). Ein hoher Übereinstimmungsgrad zwischen beiden Messungen entspricht einer hohen Reliabilität und umgekehrt ...“; synonyme Begriff: „Verfahren der wörtlichen Replikation“ (Lutzenberger et al. *Das EEG*, S. 72).

Pretest und Hauptversuch noch einmal im Vergleich:

	Probanden	Tonmaterial	Blockan- ordnung	Präsentations- häufigkeit [%]	Aufgaben- stellung	Reliabili- tätstest	Mittelungs- ergebnis
Pretest	8Vpn	a) synthetisch generierte Pulstöne b) Klavier-, Ud- und Geigentöne (zurechtgeschnitten)	1. Dur-Thai 2. Dur-Moll 3. Dur-makam 4. Dur-Dur	a)80% Standard-/ 20% Deviant-Skalen b)50% Standard-/ 50% Deviant-Leitern (Gesamtanzahl der Skalen pro Block: 50)	a)Zählen der devianten Skalen b)Notation des Binnen-aufbaus von Stan-und Dev-Leitern	Ja	Potentialverläufe einzelner Probanden für jeden Ton der Stan- und Dev-Leitern
Hauptversuch	15 Vpn (3 x 5 Vpn)	Ausschließlich synthetisch generierte Pulstöne (Soundform: Syn Pulse 2)	1. Dur-Thai 2. Dur-Moll 3. makam-Thai 4. Dur-makam 5. Thai-Dur	75% Standard- / 25% Deviant-Leitern (Gesamtanzahl der Skalen pro Block: 60)	Zählen und Wahrnehmen der Skalenstruktur <i>in Kombination</i>	Nein	grand averages (gruppenweise Mittelung) für jeden Ton der Stan- und Dev-Leitern

4.6. Die Ableitungsmethode

Bioelektrische Signale des Gehirns - die Spontanaktivität sowie die kleinen, davon überlagerten ereigniskorrelierten Spannungsschwankungen - wurden mit fünf gesinterten Ag/AgCl-Kopfhautelektroden (Firma Hellige) an der Oberfläche des Schädels registriert.

Die Skalp-Elektroden wurden nach Ausmessen von a) der Mittellinie, d.h. des antero-posterioren Abstandes zwischen den Bezugspunkten Nasion und Inion, und b) der Zentrallinie, d. h. des transversalen Abstands zwischen beiden Präaurikular-Punkten (S. 149), entsprechend dem internationalen 10-20-System (Jasper, 1958) auf der Kopfhaut plaziert und durch Aufsetzen einer elastischen Elektrodenkappe befestigt.

Die gewählten Elektrodenpositionen waren: Fz (frontal), Cz (zentral, am Vertex) und Pz (parietal) entlang der Mittellinie, sowie C3 und C4 auf der Zentrallinie (20% von Cz aus in beiden Richtungen lokalisiert, bei einem Gesamtabstand von 100% zwischen linkem und rechtem Präaurikularpunkt, vgl. Skizze S.149). Meßdaten an den Elektrodenpositionen Fz, Cz und Pz gingen in die weitere statistische Auswertung ein. Meßwerte an C3 und C4, die Aufschluß über eine mögliche Hemisphärendifferenzierung bei der Ausprägung der P3-Komponente hätten geben können, blieben unberücksichtigt, um den Umfang der Dissertation in einem angemessenen Rahmen zu halten.

Die Erdung der Probanden erfolgte frontopolar über die Stirnmitte (an Fpz); als elektrisch inaktiver Referenzpunkt wurde die Nase gewählt. Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothese wurden also nur „unipolare Mittellinien-Ableitungen gegen die Nase“ d.h. Schaltungen an Fz, Cz und Pz herangezogen.

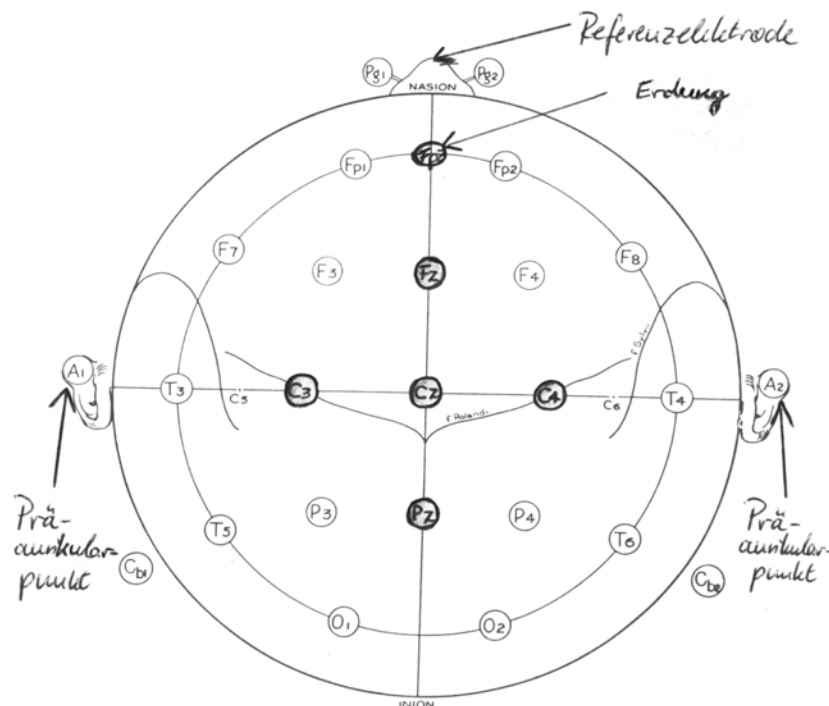
Zur Kontrolle der Lidschlag- und Blinzelartefakte (vgl. S.150f) ist zusätzlich ein vertikales Elektro-Oculogramm (VEOG) mit zwei gesinterten Ag-/AgCl-Elektroden erstellt worden, welche circa 1,5 cm ober- und unterhalb des linken Auges angebracht waren. Das EOG war als eigenständige Spur nur in Kombination mit dem Roh-EEG, nicht aber in Verbindung mit dem gemittelten ereigniskorrelierten Potential auf dem Monitor sichtbar, da die vorhandene EP-Software keine gesonderte Mittelung der corneoretinalen Aktivität zuließ. Immer dann, wenn ein Einzeldurchgang (trial) im „segmentierten EEG-Rohsignal“ (vgl. S.140) „artefaktverdächtig“ erschien, ist das EOG auf mögliche zeitgleiche Spannungsschwankungen hin untersucht worden.

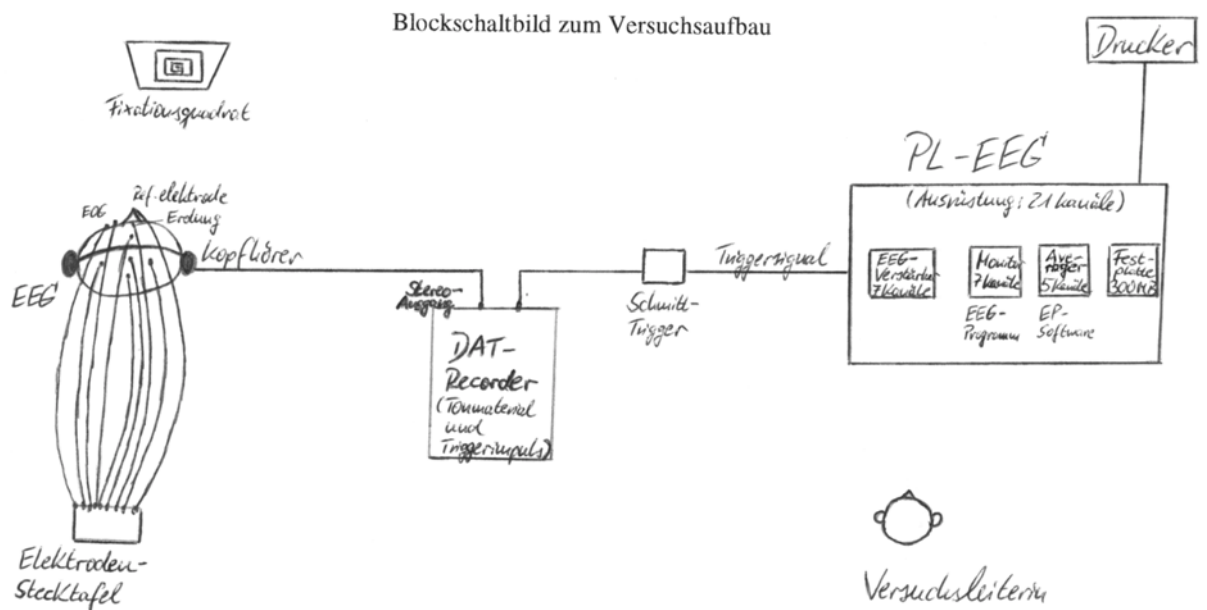
Der Übergangs- bzw. Hautkontaktwiderstand unter jeder (Skalp- und Haut-)Elektrode wurde durch Entfetten von Kopfhaut und Oberhaut des Gesichts auf 1,7 bis 2,6 kOhm gesenkt (zulässiger oberer Grenzwert: 5 kOhm; Rubbelcreme und Leitpasten: Firma Hellige bzw. Graphic Controls). Ein Impedanztest gab vor Beginn der eigentlichen Registrierphase die genauen kOhm-Werte auf dem Bildschirm an; sie wurden in einem Meßprotokoll vermerkt.

In Rahmen dieser Kontrollmessung wurde auch ein ‚Gerätetest‘ durchgeführt, der die Linearität der Kanalverstärkung mit einem Kalibriersignal von $50\mu\text{V}/\text{cm}$ überprüfte.

Sämtliche EEG- und EOG-Rohdaten wurden mit einem Instrumentationsverstärker mit abgesetzter Referenzelektrode (4000V) bei einer Zeitkonstanten von 0,3 sec und einer oberen Grenzfrequenz von 140 Hz um den Faktor 20000 verstärkt, im Anschluß an diese Verstärkung mit einer Digitalisierungsrate von 667 Hz gesampelt und zur weiteren off-line-Verarbeitung auf der Festplatte bzw. auf magneto-optical disks gespeichert.

Skizze zur Lokalisation der Kopfhautelektroden (Aufsicht)





4.7. Zur Auswertung der elektrophysiologischen Meß-Daten

„Jede im EEG beobachtete Potentialveränderung, die auf extrazerebrale Quellen zurückgeführt werden muß“¹, wird in der Neurophysiologie als *Artefakt* bezeichnet.

Artefakte können das Mittelungsergebnis stark verfälschen; artefaktbehaftete Registrierabschnitte müssen deshalb von der eigentlichen signal averaging-Prozedur ausgeschlossen werden.

Sämtliche Ausschnitte des segmentierten EEGs (SEG), das den Potentialverlauf an Fz, Cz und Pz pro Bildschirm-Fensterchen in Strecken bzw. Zeitabständen von 540 msec zeigte, sind deshalb nach einer Sitzung off-line für jeden Ton, jeden Block und Probanden auf Artefakte durchgesehen und mit der EOG-Spur im Roh-EEG verglichen worden.

Folgende elektrische und elektrophysiologische Besonderheiten wurden als Artefakt deklariert und im SEG entsprechend markiert: Potentialschwankungen biologischen Ursprungs, die auf Lidschlag, Augenbewegungen und Muskelaktivität („Nadeln“ als EEG-Muster) zurückgehen. Ferner sämtliche Registrierabschnitte, in denen gerätetechnisch bedingte „Null-Linien“ oder

¹ Lutzenberger et al. *Das EEG*, S.92.

Kurvenverläufe mit ‚rahmensprengenden‘ Amplitudenwerten größer als 120 μV („peak to peak“¹, d.h. gemessene Maximalauslenkung vom Gipfel zur Senke) vorhanden waren.²

Vor der Mittelung wurden artefakt-*freie* Einzeldurchgänge (trials) - bei einem willkürlich festgesetzten Minimum von fünf *äquivalenten* trials³ - am Bildschirm gesondert für jeden Ton nach der Modus-Zugehörigkeit (Standard/Deviant) sortiert und markiert. Der eigentliche Vorgang des ‚averagens‘ erfolgte hernach als ein separater Arbeitsschritt ohne zugleich auf die Korrektheit der ‚behavioral data‘ zu achten, mit anderen Worten: ohne Einzeldurchgänge derjenigen Probanden vom Vorgang der Mittelung auszuschließen, die auf dem Aufgabenbogen fehlerhafte Zähl- und Notationsergebnisse eingetragen hatten.⁴

Für das visuelle Beurteilen der ereigniskorrelierten Aktivität ist allgemein ein *gruppenweises* Zusammenfassen von gemittelten einzelnen äquivalenten EP-Kurven zu ‚grand averages‘ erforderlich; der technische Verarbeitungsschritt konnte jedoch mit der im PL-EEG-Gerät installierten Software nicht realisiert werden.

Jedes ereigniskorrelierte Einzel-Potential wurde daher auf der Festplatte in eine codierte ASCII-Datei⁵ umgewandelt und in dieser Form ‚exportiert‘. Für diesen Zwischenschritt wurde die sampling rate (ursprünglich 667 Hz) auf 168,5 Hz neu festgesetzt. Das hatte eine Reduktion der Daten auf 91 Werte pro File zur Folge und zog damit eine Verringerung des Speicherplatzbedarfs auf 5,3 MB nach sich.

Die 5040 Meßwert-Dateien, von denen jeweils eine die Daten für einen vollständigen ERP- das sich Verlauf (d.h. für ein 540 msec-Zeitintervall resp. einen Skalenton und das sich anschließende

¹ in der Bedeutung von Extrempunkt, Scheitelpunkt.

² Eine Artefaktbestimmung unter Anwendung des sog. ‚50 μV -Kriteriums‘, wonach Potentiale mit Amplitudenwerten größer als 50 μV *generell* verworfen werden sollen, wurde auf Anraten von Herrn Dr. Verleger nicht durchgeführt, vgl. auch R. Verleger ‚Valid identification of blink artefacts...‘, S. 355.

³ ebd., S. 357: ‚...the requirement of at least 5 artefact-free trials per average...‘.

⁴ NB: Mit dem Problem, ob Registrierabschnitte (trials) gemittelt bzw. ERP-Daten statistisch ausgewertet werden sollen, ohne auf die Fehlerrate in den behavioral data zu achten, wird in der Literatur unterschiedlich umgegangen. So gibt es Untersuchungen, in denen Einzeldurchläufe nur unter der Voraussetzung von korrekten Zähl- oder Identifikationsangaben gemittelt werden (vgl. Cohen et al. ‚Cognitive meanings of musical elements‘, 1993, Besson/Faita ‚Brain waves associated ...‘, 1994, Barnea et al. ‚Absolute pitch ...‘, 1994). Andere Autoren wiederum summieren trials unabhängig von den innerhalb des ‚signal detection paradigm‘ gegebenen ‚Treffern‘ und ‚korrekten Zurückweisungen‘ (vgl. z.B. Hantz et al. ‚Effects of musical training‘, 1992) und sehen die gestellten Aufgaben nur als Hilfsmittel zum Konstanthalten der Aufmerksamkeit an.

⁵ Aufbau und Kennzeichen der ASCII-Datei: freies File-Format, *ein* Abtastwert pro Zeile, ‚blanks‘ als Trennzeichen.

Interstimulus-Intervall) enthielt, wurden via externe Festplatte auf einer Workstation im Rechenzentrum der Universität Hamburg eingelesen.

Damit grand averages (Summenkurven) mit Hilfe des Programmpakets SPSS¹ auf der Workstation rechnerisch und graphisch erstellt werden konnten, war es erforderlich, die auf der UNIX-Ebene einzeln vorliegenden 5040 ASCII-Meßwert-Dateien - bei einer gleichbleibenden Anzahl von 91 x 5040 Abtastpunkten - zu einer einzigen Gesamtdatei zusammenzufassen. Dieses ‚Additionsproblem‘ erwies sich als außerordentlich kompliziert und wurde über vier Programmstufen gelöst, in denen vier SPSS-Kommandodateien durch eine verschachtelte Schleifenstruktur nacheinander aufgerufen wurden.

Auf diese Weise war es möglich, zwei grundlegende Schritte in einem einzigen Programmdurchlauf zu kombinieren: a) das Erzeugen der *einen* Resultat-Datei und b) das Durchführen der sog. ‚Basislinien-Korrektur‘² (Programmierplan sowie diejenigen Teile in SPSS-Syntax, die sowohl zum Prüfen des Datenbestandes als auch für die Basislinien-Korrektur und zum Erstellen der grand averages erforderlich waren, sind im Anhang zu finden).

Für die ‚baseline correction‘ wurde das arithmetische Mittel - post-stimulus aus den ersten sechs Abtastwerten eines jeden Potentialverlaufs - errechnet und von jedem der 91 ‚sampling points‘ der entsprechenden ERP-Kurve subtrahiert. Grundlage für diese Mittelwertbildung war somit der Potential-Ausschnitt der ersten 30 msec nach Reizbeginn, desjenigen Zeitintervalls also, das für die Analyse der hier zur Diskussion stehenden endogenen Komponenten irrelevant ist (vgl. S. 20f).

Bei dem Korrekturvorgang stellte sich heraus, daß die Potentialverläufe von jeweils zwei Probanden aus einer Gruppe eine - von den Amplitudenwerten her - unangemessen große Drift-Bewegung zeigten, die mit einer entsprechenden Basislinienkorrektur nicht zu kompensieren war. Die Meß-Ergebnisse dieser Versuchspersonen wurden deshalb von der weiteren Auswertung ausgeschlossen; die Stichprobengröße somit von 3 x 7 auf 3 x 5 Probanden reduziert.

Mit Hilfe der ‚Aggregate‘-Prozedur in SPSS (genauer: der Aggregierungsfunktion ‚Mean‘³)

¹ SPSS for Unix sowie SPSS for windows, jeweils Release 6.1..

² auch: ‚baseline correction‘: Erstellen einer ‚genormten‘ Ausgangsbasis, das Ziel ist ein einheitlicher Kurven-Beginn am Nullpunkt. Geringfügig abgedriftete Potentialverläufe werden zur Abszisse ‚herauf- bzw. heruntergezogen‘; zu diesem Zweck wird der Mittelwert einer prä- oder poststimulus-Strecke von jedem der vorhandenen Abtastpunkte subtrahiert.

³ vgl. Schubö, *Handbuch der Programmversionen 4.0 ...*, S. 257ff.

wurden die 91 sampling-Werte von nunmehr fünf Versuchspersonen gleicher kultureller Zugehörigkeit zusammengefaßt und pro Ton, Modus, Kanal und Block durch 91 sampling-Mittelwerte einer neu gebildeten Gruppe ‚Nation‘ substituiert.

Mit dem Graphik-Karussell des ‚SPSS for windows‘ konnten die auf diese Art erhaltenen **grand averages** (Summenkurven) einer ‚Nation‘ (Kulturgruppe) für jeden Ton, jede Modalität und jede Versuchsanordnung sichtbar gemacht werden, grand averages waren Grundlage für die sich anschließende **visuelle Inspektion** des Kurvenverlaufs verbunden mit einem Auffinden von möglichen ERP-Komponenten (vgl. Abschnitt 5.2.2.).

Auf das ‚Glätten‘ der Kurven nach der Mittelung, d.h. das Entfernen restlicher vorhandener Rauschanteile durch ‚Wiener-Filterung‘¹ oder andere Filter-Methoden mußte in dieser Arbeit aufgrund des fehlenden equipments verzichtet werden.

Vor dem Erstellen der grand averages wurde jede einzelne gemittelte ERP-Kurve auf Computerpapier ausgedruckt. ‚Gipfellatenzen‘ und ‚-amplituden‘ wurden manuell anhand dieser Vorlagen ausgemessen und für jede Kurve baseline-korrigiert, um die individuellen Amplituden- und Latenzwerte jedes einzelnen Probanden als Input für die nachfolgende **varianzanalytische Auswertung** (pro Ton, Modalität und Versuchsanordnung) zur Verfügung zu haben.

Hierfür wurde der gesamte Latenzbereich von 540 msec in zwei Zeitabschnitte (Teilstrecken) mit den Eckpunkten a) 270 msec / 430 msec und b) 430 msec / 540 msec untergliedert.² Die Kenngrößen ‚Latenz‘ und ‚Amplitude‘ (‚Latenz‘: gemessen vom Zeitpunkt der Reizauslösung (stimulus onset) an; ‚Amplitude‘: gemessen Spitze-zu-technischer-Nulllinie³) sind im Intervall (a) 270 msec / 430 msec für den tiefsten positiven lokalen ‚peak‘ und im Intervall (b) 430 msec / 540 msec für den Punkt größter lokaler Negativität ermittelt worden. NB: Der positive lokale Extremwert im Zeitfenster 1 als Scheitelpunkt einer Halbwelle, die die Form einer P3-Komponente aufwies, war der originäre Gegenstand der Untersuchung; er wurde bereits in der Planungsphase als solches deklariert und das Versuchsdesign (‚oddball paradigm‘) auf ein mögliches Vorhandensein dieser Komponente zugeschnitten. Der Latenzbereich 2 ist im Unterschied hierzu a posteriori, entgegen dem ursprünglichen Vorhaben eingerichtet worden, da bereits die Auswertung des Pretests (Durchsicht der Einzel-Kurven) eine negative

¹ vgl. Rösler ‚Statistische Verarbeitung von Biosignalen...‘, S. 142ff.

² Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden diese Teilstrecken im Ergebnisteil (Kapitel 5.2.2. dieser Arbeit) ‚Latenzbereich 1‘ und ‚Latenzbereich 2‘ oder auch ‚Latenzfenster 1‘ bzw. ‚Latenzfenster 2‘ genannt.

³ vgl. Rösler a.a.O. S. 147.

Potentialverschiebung als unvermutete, zusätzliche ERP-Komponente im Zeitabschnitt von 430 msec bis 540 msec ergab.

Prinzipiell wurde beim Begutachten der lokalen Maxima in Intervall (a) und (b) auf das Zutreffen von komponententypischen „visuellen Formkriterien“¹ (waveshapes) geachtet, um störende bioelektrische Zusatz-Aktivitäten wie das sog. „Rauschen“ oder einen, der ERP-Kurve überlagerten dominanten α -Rhythmus von der weiteren varianzanalytischen Auswertung auszuschließen. In diesem Punkt unterscheidet sich das manuelle Auswertungsverfahren von automatischen Analyse-Methoden, die mit Algorithmus-Programmen durchgeführt werden. Vollständige Amplituden- und Latenzangaben aus beiden Zeitfenstern waren also der „Daten-Input“, mit dem in Schritt eins 20 vierfaktorielle univariate Varianzanalysen mit Meßwiederholungen gerechnet wurden - pro Versuchsanordnung und Zeitabschnitt (270 msec / 430 msec bzw. 430msec / 540msec) jeweils eine mit Amplituden- bzw. eine mit Latenzwerten.

Die Varianzanalysen wurden in SPSS mit der Prozedur MANOVA realisiert (SPSS-Programm siehe Anhang), hierbei jedoch auf den sog. „omnibus F-Test“ begrenzt, da zwei Statistiker aufgrund der überaus komplexen Ergebnisausgabe davon abrieten, mit dem MANOVA-Aufruf zusätzlich detaillierte Einzelvergleiche zu erstellen.

Folgende unabhängige Variablen gingen als Meßwiederholungsfaktoren in das varianzanalytische Design ein: a) „Zustand“ (zwei Faktorstufen: Stan, Dev), b) „Skalenton“ (acht Faktorstufen: Ton 1 bis Ton 8), c) die „Elektrodenposition“ (drei Faktorstufen: Fz, Cz, Pz); Gruppierungsfaktor war die „Kultur“ (drei Faktorstufen: Deutsche, Türken, Inder). Das Programm wurde ferner um das Korrekturverfahren mit dem Faktor ϵ (Verwendung des Korrekturfaktors von Greenhouse und Geisser) ergänzt - eine Methode, die bei Varianzanalysen mit Meßwiederholungen zur Kompensation von möglichen Verletzungen der Zirkularitätsannahme² eingesetzt wird und in

¹ Rösler *Hirnelektrische Korrelate*, S. 268.

² In Varianzanalysen mit Meßwiederholungen ist ein F-Test nur dann valide, wenn die sog. „Zirkularitätsannahme“ erfüllt ist bzw. eine Verletzung dieser Annahme durch eine Gewichtung der Zähler- und Nennerfreiheitsgrade mit dem Faktor ϵ ausgeglichen wird, so daß in der Konsequenz zufällig signifikante Ergebnisse mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit vorzufinden sind. J.Bortz gibt zur Zirkularitätsannahme die folgende Erklärung: „Verletzungen der Zirkularitätsannahme liegen vor, wenn heterogene Korrelationen zwischen den Meßzeitpunkten unsystematisch variieren. Sie lassen sich nach Box dadurch kompensieren, daß man für F-Tests in der Meßwiederholungsanalyse *modifizierte Freiheitsgrade* verwendet. ... Bei Verletzung dieser Voraussetzung gewichtet man die Freiheitsgrade mit einem Faktor ϵ ($\epsilon \leq 1$), der eine Reduktion der Freiheitsgrade bewirkt. Je stärker die Zirkularitätsannahme verletzt ist, desto kleiner wird ϵ , d.h. man erhält bei einer deutlichen Verletzung der Voraussetzung weniger Zähler- und Nennerfreiheitsgrade für den F-Test. Der so modifizierte F-Test vergleicht damit den empirischen F-Wert mit einem größeren kritischen F-Wert als der „normale“ F-Test, d.h. die Wahrscheinlichkeit eines zufällig signifikanten Ergebnisses wird verringert.“ (J. Bortz *Statistik Sozialwissenschaftler*, S. 327, kursiv im Original).

dieser Untersuchung aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs von $n = 3 \times 5$ Probanden anzuraten war.

Die ‚Greenhouse-Geisser‘-Korrektur führte bei Werten von $df > 1$ zu einer Modifikation der Zähler- und Nennerfreiheitsgrade, sie betraf diejenigen Teilttests, in denen der empirische F-Wert zum einen in bezug auf Interaktionen, zum anderen für die genannten Meßwiederholungsfaktoren, nicht aber für den Gruppierungsfaktor ‚Kultur‘ auf Signifikanz geprüft werden sollte.

Interaktionen wurden in dieser Arbeit bis zur zweiten Ordnung (einschließlich) ausgewertet. Die Ergebnisse dieses ‚omnibus F-Tests‘ wurden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5% ($p < 0.05$) als signifikant erklärt.

Das vierfaktorielle MANOVA-Design noch einmal in einer Übersicht (genannte Meßwiederholungsfaktoren in hierarchischer Anordnung):

Block 1 bis Block 5	Meßwiederholungs- Standard Ton1 Ton2.....Ton8 Fz Cz Pz Fz Cz Pz Fz Cz Pz	Faktoren Deviant Ton1 Ton2.....Ton8 Fz Cz Pz Fz Cz Pz Fz Cz Pz
Gruppierungsfaktor Kult1 Kult2 Kult3		

Schritt zwei der statistischen Auswertung bestand in einer einfachen einfaktoriellen Varianzanalyse, anhand derer der Einfluß des Faktors ‚kulturelle Prägung‘ auf die Tonleiter-Perzeption mit Hilfe von a posteriori-Einzelvergleichen im Anschluß an das Ermitteln der Gesamtsignifikanz untersucht werden konnte (und somit eine statistische Alternative für die mit MANOVA (nicht durchgeführten) Einzelvergleiche darstellte).

Die einfaktorielle Varianzanalyse wurde mit der SPSS-Prozedur ONEWAY realisiert. Sie bestand - wie das vierfaktorielle Gegenstück - aus insgesamt 20 Durchläufen, wobei für jede Versuchsanordnung und jedes Zeitfenster jeweils eine Analyse gesondert für Amplitudenangaben und Latenzwerte gerechnet wurde.¹

¹ ONEWAY brachte für Latenzwerte fast ausnahmslos nicht-signifikante Resultate; Latenzangaben bleiben im Ergebnisteil deshalb unberücksichtigt.

Als abhängige Variable wurde die 48fach gestufte Kombinationsvariable Z1TON1P1 bis Z2TON8P3, als unabhängige Variable der 3fach gestufte Faktor ‚Kultur‘ verwendet (SPSS-Programm für den ONEWAY-Aufruf: Anhang S. 324f).

Die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test überprüft;¹ gerade die *Nicht*-Signifikanz seiner Ergebnisse war Voraussetzung dafür, daß Resultate des allgemeinen ONEWAY-F-Tests und der dazugehörenden Einzelvergleiche bei einem signifikanten Ausgang überhaupt berücksichtigt werden durften.

In der Einzelvergleichsanalyse im Anschluß an den omnibus-F-Test sind die Mittelwerte von jeweils zwei der drei Kultur-Gruppen paarweise mit dem Scheffé-Test verglichen worden. Als Signifikanz-Niveau wurde ein Level von 5% festgesetzt, es sind jedoch auch diejenigen Ergebnisse des Scheffé-Tests aufgeführt, die sich bei einem α -Fehler-Niveau von 1% als signifikant erwiesen hatten. Über die Prozedur MEANS wurde zusätzlich der Koeffizient η^2 bestimmt, um den prozentualen Anteil der „erklärten Varianz“² zu ermitteln, „desjenigen Varianzanteils der abhängigen Variablen“ also, „der auf die unabhängige Variable [Kultur] zurückzuführen ist.“³ (Die entsprechende Gleichung lautet: $\text{Varianzaufklärung} = \eta^2 \times 100\%$). Mit Hilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben sollte für jeden Block ferner überprüft werden, ob sich der Mittelwert eines devianten Tons an einer der drei Elektrodenpositionen in jedem Block (überhaupt) signifikant vom Mittelwert seiner Standard-Entsprechung unterscheidet. Der Gruppenfaktor ‚Kultur‘ wurde dabei vernachlässigt; die Stichprobengröße betrug damit $n = 15$ Vpn. Auch hier hatte das Signifikanzniveau ein Level von 5% (Prozeduranweisung siehe Anhang S. 324f).

¹ In vielen statistischen Tests, so auch dem F-Test, wird vorausgesetzt, daß die Varianz der Meßwerte (hier: der Amplitudendaten) in den miteinander zu vergleichenden Stichproben in etwa gleich ist. Der Levene-Test prüft diese Voraussetzung. „Er ist ein Test auf Homogenität der Varianzen, der gegenüber anderen Tests den Vorteil hat, nicht selbst von der Voraussetzung einer Normalverteilung in der Grundgesamtheit abzuhängen ... Sollte die Nullhypothese gelten, dürfte sich die Variation innerhalb der Gruppen von der zwischen den Gruppen nicht signifikant unterscheiden“ vgl. Janssen/Laatz *Statistische Datenanalyse mit SPSS for windows*, S. 200.

² ebd., S. 287.

³ vgl. Bortz, *Statistik für Sozialwissenschaftler*, S. 257.

4.8. Methodische Anmerkungen zur Auswertung der Versuchsaufgaben

a) Zählen der devianten Tonleitern (Zielreize)

Die Anzahl der Fehler, die beim Zählen der devianten Skalen auftraten, wurde für jeden Block nach dem Muster des sogenannten ‚signal detection Paradigmas‘¹ bestimmt. Zu diesem Zweck wurde die Anzahl der ‚misses‘ (fehlende Antworten bei vorhandenem Zielreiz) sowie die Anzahl der ‚false alarms‘ (Vpn-Reaktion bei nicht-vorhandenem Zielreiz) für jeden Probanden aus dessen Zählergebnis ermittelt; die eigentliche Fehlerrate setzte sich pro Versuchsteilnehmer aus der Summe dieser ‚misses‘ und ‚false alarms‘ zusammen. Sie ist in Tab.2 (S. 164) als Absolutwert sowie als Prozentzahl separat für jeden Block angegeben - zum einen für die Gesamt-Stichprobe (n = 15 Vpn), zum anderen unterteilt nach kultureller Zugehörigkeit (Gruppengröße: jeweils 5 Pb).^{2,3}

Für jeden Block und jede Probandengruppe wurde die Häufigkeit der fehlerhaften Antworten (in Prozent) zusätzlich in einem Balkendiagramm dargestellt (S. 164).

b) Notation der Standard- und Deviant-Skalen

Die Cent⁴-Rechnung ist ein mathematisches Hilfsmittel, das in der tonometrischen Forschung, einem Aufgabenbereich der Vergleichenden Musikwissenschaft, verwendet wird, um die intervallische Binnenstruktur von Tonleitern (Instrumentalleitern) bei Tonmessungen an

¹ in seiner ursprünglichen Form ein Versuchsaufbau aus der Psychophysik, der über die Unterscheidungssensitivität und das Reaktionsverhalten von Vpn Aufschlüsse gibt. Verrauschte Signale oder Reize von knapp überschwelliger Intensität werden hierfür in Zufallsfolge vor Hintergrundrauschen/Störreizen geboten. Aus dem Vorhandensein bzw. Nicht-Vorhandensein des Signals und dem dazugehörigen Antwortverhalten der Vpn lassen sich vier Kombinationsmöglichkeiten bilden: ‚hit‘: Signal vorhanden und vom Probanden korrekt erkannt; ‚miss‘: Signal vorhanden, jedoch ohne entsprechende Reaktion des Probanden; ‚correct rejection‘: Signal nicht vorhanden, auch die Reaktion des Probanden bleibt aus; ‚false alarm‘: Signal nicht vorhanden, wird vom Probanden aber irrtümlich als vorhanden registriert (vgl. *dtv Lexikon Psychologie*, Stichwort: ‚Signalentdeckung‘, S. 307f).

² Um die prozentuale Fehlerrate gesondert für jede Kultur und jede Versuchsanordnung zu berechnen, wurde in jedem Block das Produkt aus der Gruppengröße (n = 5 Vpn) und der Gesamt-Anzahl der Deviants als Nenner gewählt ($(x / 5 \times 15) \times 100\%$).

³ Die hohe Fehlerrate in der Gruppe der türkischen Musiker wurde durch Extremwerte eines einzelnen Probanden verursacht (Balkendiagramm S. 164). Seine Zähl-Ergebnisse wurden dennoch miteinbezogen, um die Vergleichbarkeit der absoluten Fehlerzahlen durch gleiche Gruppengröße (n = 5 Vpn) zu garantieren.

⁴ logarithmisches Intervallmaß zur Bestimmung von Intervallgrößen und relativen Tonhöhen unabhängig von den zugrundeliegenden Schwingungszahlen; Bezugsgröße ist der temperierte Halbton = 100 Cents (Hirsch *Musiklexikon*, Stichwort: ‚Cent‘, S. 73).

Musikinstrumenten exakt bestimmen zu können.¹

Für die in Aufgabe 2 geforderte Fixierung der wahrgenommenen Skalenstruktur konnte der Umgang mit dem Cent-Intervallmaß bei den Versuchsteilnehmern jedoch nicht als bekannt vorausgesetzt werden; die Probanden wurden deshalb gebeten, ihre kultureigene Notenschrift zu verwenden (Standardnotation, Akzidentien, Solmisationssilben, die Tonsilben der Inder (sargam-Notation²)). Der Rückgriff auf kulturbedingte Notationseigenheiten aber brachte das Problem der Metrifizierung (Meßbarkeit) mit sich - verbunden mit der Frage, wie man die Korrektheit der graphischen Darstellung des Leiterbaus anhand objektiver Maßstäbe beurteilen könne.

Zu diesem Zweck wurde ein Bewertungsraster ausgearbeitet, bei dem ein Hauptgedanke aus der Psychophysik aufgegriffen bzw. von der Überlegung ausgegangen wurde, welche minimale Frequenzdifferenz mit Bezug auf die vielfach wiederholten Dur-Basistöne (Standard) in Hinblick auf Tonhöhenunterscheidung überhaupt wahrgenommen werden kann.

Als „Differenz-Wahrnehmungsgrenze“³ wurde ein Betrag von 25 Cents⁴ festgelegt - ein Wert, der dem ‚Radius‘ von einem Achtelton entsprach und um jeden Tonpunkt der Dur-Tonleiter sowohl in positiver als auch in negativer Richtung abgetragen wurde.

Im Anschluß hieran wurde geprüft, ob sich die Frequenzen der vorgespielten Skalentöne von Thai-, Moll- und Hicaz-Leiter a priori innerhalb dieses festgesetzten Intervallabstands von ± 25 Cents befanden (vgl. Tab. 1c, S. 160). Das Einordnen sämtlicher Frequenzen der drei Vergleichstonleitern (Thai, Moll und Hicaz) in diese ‚zones of pitch classes‘ bildete die normative Grundlage, um das (empirische) Aufzeichnungsergebnis der Probanden dann als richtig oder falsch zu bewerten.

Hierzu zwei Beispiele: Hatte das ‚Einsortieren‘ der Thai-Frequenzen in die Tonhöhenklassen der entsprechenden Dur-Töne gezeigt, daß der deviante vierte Thai-Ton aus Block 1 (664,6 Hz) im

¹ vgl. Beurmann/Schneider ‚Probleme akustisch-tonometrischer Forschung‘, S. 157.

² vgl. L. Pesch *Vom Klang des Glücks*, S. 28.

³ Roederer *Physikalische und psychoakustische Grundlagen ...*, S. 26, synonym: ‚Frequenzunterschiedsschwelle‘, ‚gerade wahrnehmbare Reizänderung oder Reizstufe‘ vgl. E. Zwicker, *Psychoakustik*, 1982, S.4 und S.7f.

⁴ Der Wert der ‚gerade merkbaren Frequenzdifferenz‘ (just noticeable difference, jnd), einer klassischen physikalischen Größe, mit der das Frequenzauflösungsvermögen von Probanden in der Psychophysik getestet wird, wurde in diesem Zusammenhang als Betrag für zu klein und zu variabel gehalten: jnd-Werte haben im relevanten Bereich von 493,88 Hz bis 987,76 Hz (h⁴ bis h⁵) lediglich eine Größe von circa 3,5 Hz bis 5 Hz (~ 9 bis 12 Cents), gemessen bei Sinustönen von konstanter Intensität (80 dB); vgl. Roederer *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, S. 26f.

oberen 25-Cent-Bereich von Ton 4 des Dur-Standards liegt (659,25 Hz (e^{‘‘}) \downarrow 664,6 Hz (Thai-Ton) \rightarrow 668,84 Hz)¹, hätte der Proband die entsprechende Note bzw. Tonsilbe ‚pur‘, ohne jedweden Zusatz belassen sollen.

War jedoch der zweite Ton des makam Hicaz (527,50 Hz, Block 4) unterhalb des ‚range‘ vom entsprechenden zweiten Ton des Dur-Standards anzufinden (527,5 Hz (Hicaz-Ton) \leftarrow 546,41 Hz \leftarrow 554,36 Hz (cis^{‘‘})), wäre ein nach unten gerichteter Pfeil oder eine b-Vorzeichnung als Markierung notwendig gewesen.

Allgemein wurde diesem Abschnitt die Annahme zugrunde gelegt, daß korrekte Notation mit einer korrekten Skalen-Wahrnehmung gleichzusetzen sei, bzw. daß falsche Notation mit einem unpräzisen Höreindruck einhergehe.

Prä-experimentell entwickeltes Auswertungs-Schema zur Beurteilung der Notations-Ergebnisse

Tabelle 1. a) einzuordnende Frequenzwerte:

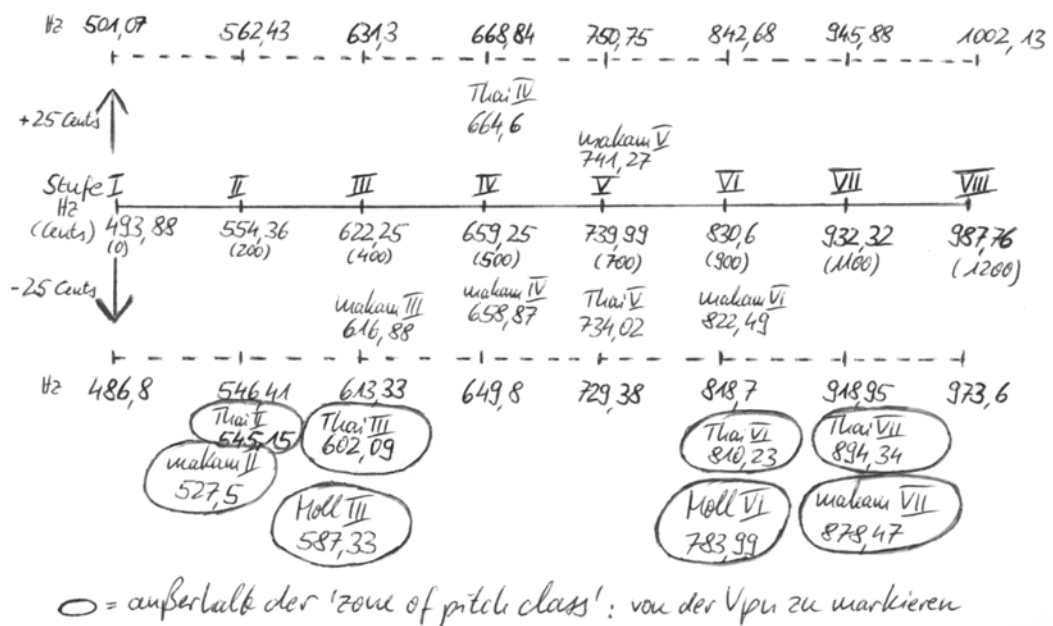
harmon. Moll (Hz)	493,9	554,4	587,3	659,3	740	784	932,3	987,8
makam Hicaz (Hz)	493,9	527,5	616,9	658,9	741,3	822,5	878,5	987,8
Thai (Hz)	493,9	545,2	602,1	664,6	734,0	810,2	894,3	987,8

¹ Cent-Hertz-Umrechnung nach der Centstabelle von Kurt Reinhard.

b) Bandbreite der Tonhöhenklassen (range = ± 25 Cents) oberhalb und unterhalb der Dur-Tonpunkte

	Stufe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	+25	25	225	425	525	725	925	1125	1225
	Cents	501,07	562,43	631,3	668,84	750,75	842,68	945,88	1002,1
	(Cent- Werte / Hz)								
Dur- Basistöne (Cent-Werte / Hz)		0 493,88	200 554,36	400 622,25	500 659,25	700 739,99	900 830,6	1100 932,32	1200 987,76
	-25	-25	175	375	475	675	875	1075	1175
	Cents	486,8	546,41	613,33	649,8	729,38	818,7	918,95	973,6
	(Cent- Werte / Hz)								

c) ‚zone of pitch class‘ für Dur-Töne mit eingefügten Thai-, makam- und Molltönen [Hz]



Einen Überblick über sämtliche Notationsfehler, die nach dem oben erläuterten ‚±25-Cent-range-Verfahren‘ ermittelt worden sind, gibt die Häufigkeitstabelle auf S. 167ff.

Auch hier wurde eine blockweise Unterteilung zugrunde gelegt.

Für jede der fünf Versuchsblöcke ist die absolute Häufigkeit der Falsch-Töne aufgelistet: a) für den gesamten Stichprobenumfang (15 Pb) sowie b) einzeln für jede, nach der kulturellen Zugehörigkeit gebildete Gruppe.

Eine Signifikanz-Prüfung mittels X^2 -Test wurde weder in diesem Zusammenhang noch bei der Auswertung der Zähltaufgabe durchgeführt; aufgrund der kleinen Gruppengröße ($n = 5$ Vpn) waren die Voraussetzungen für die Anwendung des X^2 -Verfahrens in beiden Fällen nicht erfüllt.

c) Benennung / Klassifikation der Tonleitern

Um den Hör-Eindruck unmittelbar nach Abschluß sämtlicher Messungen noch einmal auf eine andere Weise zu überprüfen, wurde das Benennen der vier dargebotenen Tonleitern als feedback-Maßnahme zusätzlich zu beiden Versuchsinstruktionen (Zählen und Notieren) gewählt. Jeder Versuchsteilnehmer wurde gebeten, die Gesamt-Anzahl sowie den genauen Namen einer jeden Tonleiter-Form in den Fragebogen einzutragen.

Eine Aufstellung und kurze Deutung der für die als bekannt eingestuften Skalenarten gewählten Bezeichnungen ist den Seiten 170 bis 173 zu entnehmen.

Kontingenztafeln (S. 176f) sollen Auskunft über den Zusammenhang zwischen ‚Benennung‘ und ‚Notation‘ der präsentierten Tonleiterformen geben. Sie schließen den deskriptiven Auswertungsteil ab.

5. Ergebnisse

5.1. Deskriptiv-Befunde

5.1.1. Zählen der devianten Tonleitern

Jeder Versuchsteilnehmer hätte, der Aufgabenstellung entsprechend, 15 deviante Tonleitern (Zielreize, targets) in einem Skalenblock korrekt erkennen und zählen müssen. Das ergibt - aufsummiert für die gesamte Stichprobe von 15 Vpn - 225 deviante Skalen in jeder Versuchsanordnung.

In Block 1 wurden von 225 Skalen insgesamt 41 Leitern entweder a) nicht wahrgenommen (misses) oder b) bei fehlendem Reiz als irrtümlich vorhanden registriert (false alarms).

Türkische Probanden hatten - so geht aus der Aufteilung der gesamten Stichprobe unter dem Aspekt der kulturellen Zugehörigkeit hervor - in Block 1 offensichtlich die größten Schwierigkeiten, die deviante äquiheptatonische Thai-Skala vom Dur-Standard zu unterscheiden. Hier betrug die prozentuale Fehlerrate 38,67% (gegenüber 12% bei den indischen und 4% bei den deutschen Vpn, vgl. Tabelle 2, S. 164).

Versuchsanordnung 2, in der Dur- mit Moll-Skalen kombiniert waren, wies den insgesamt geringsten Fehlerprozentsatz unter allen fünf Blöcken auf (13,33%).

Auch hier lieferten die türkischen Probanden mit 23 Falsch-Antworten (30,67%) den größten Fehleranteil. Die deutschen Musiker reagierten erwartungsgemäß; sämtliche Moll-Skalen wurden von ihnen richtig identifiziert. Auch die indischen Versuchsteilnehmer machten in nur sieben von 75 Fällen (15 Deviants x 5 Vpn) fehlerhafte Angaben.

In Block 3, der die deviante Thai-Skala im Kontext der makam Hicaz-Standardleiter darbot, war - verglichen mit Anordnung 2 - ein doppelt so großer prozentualer *Gesamt*-Fehleranteil zu beobachten (26,22% gegenüber 13,33%). Die deutschen Probanden gaben fünf fehlerhafte Antworten und hatten mit einer prozentualen Fehlerrate von 6,67% ihr insgesamt schlechtestes Hör- und Zählergebnis. Überraschenderweise war der makam Hicaz in Block 3 gerade für türkische Versuchsteilnehmer keine geeignete Orientierungshilfe, um den Thai-Deviant ohne Hörschwierigkeiten davon abzugrenzen.

Die prozentuale Fehlerrate betrug hier 45,33% (das entspricht 34 fehlenden oder fehlerhaften Antworten bei 75 Thai-Devianten). Auch den indischen Musikern gelang es - bei einer Fehlerrate von 26,67% gegenüber 12% (Block 1) und 9,33% (Block 2) - diesmal nicht, den Unterschied zwischen der Standard- und der Deviant-Skala deutlich herauszuhören.

Die ebenfalls hohe Fehlerrate der indischen Probanden in Block 4 (21,33%) ist vermutlich auf Konzentrationsschwierigkeiten zurückzuführen. Die deutschen Musiker konnten hingegen den devianten makam Hicaz (Block 4) etwas eindeutiger als die abweichende Thai-Skala (Block 1) im jeweiligen Standard-*Dur*-Kontext erkennen (Fehlerrate: 2,67% (Block 4) gegenüber 4% (Block 1)). Auch für die türkischen Probanden war es etwas einfacher, den makam Hicaz (Block 4) - im Vergleich zum Thai-Deviant (Block 1) - vom *Dur*-Standard zu unterscheiden (Fehlerrate: 34,67% (Block 4) gegenüber 38,67% (Block 1)).

Ermüdungserscheinungen oder eine falsch verstandene Aufgabenstellung (welcher Modus - Standard oder Deviant - bei einem, im Vergleich zu Block 1 invers angeordneten Skalenmaterial (**Thai - Dur**) zu zählen sei) sind wohl auch der Grund für die ungewöhnlich hohe Fehlerrate der türkischen und indischen Probanden in Block 5 (Türken: 61,33% mit 46 Falsch-Antworten, Inder: 37,33% mit 28 Zählfehlern bei jeweils 75 Devianten). Die deutschen Musiker hingegen haben Block 5 mit weniger Fehlern als Block 1 bewältigt (Fehlerrate deutsche Vpn Block 5: 2,67% , Block 1: 4%).

Bewertet man die absoluten und prozentualen Fehlerhäufigkeiten *ausschließlich* unter dem Aspekt des Kulturbezugs und läßt hierbei die Aufteilung in einzelne Versuchsblöcke außer Acht (Tabelle 2, letzte Zeile), so treten die gruppenbedingten Unterschiede im Zählverhalten noch einmal deutlich hervor:

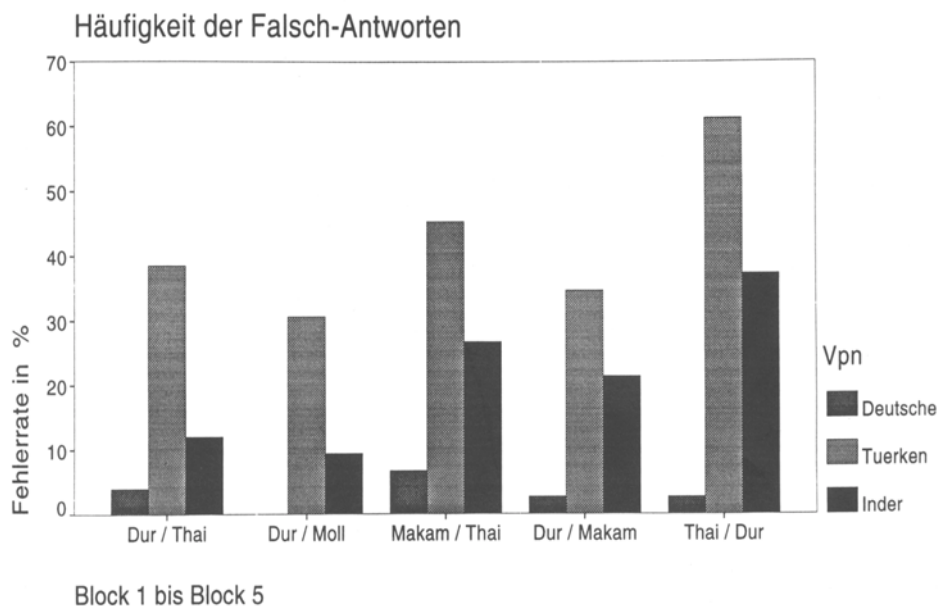
Türkische Probanden haben - bei insgesamt 375 präsentierten Deviant-Skalen (15 Devianten x 5 Vpn x 5 Blöcke) - 158 fehlerhafte Antworten gegeben (Fehlerrate: 42,13%), indische Probanden 80 (21,33%), deutsche Probanden jedoch nur 12 (3,2%).

Auswertung der Versuchsaufgaben, deskriptive Ergebnisse:

Tabelle 2. Zählen der devianten Tonleitern (absolute und prozentuale Fehlerhäufigkeit)

	Fehlerrate absolut / (prozentual)			
Block	Deutsche	Türken	Inder	Vpn insgesamt (n = 15)
I Dur-Thai	3 (4%)	29 (38,67%)	9 (12%)	41 (18,22%)
II Dur-Moll	0 (0%)	23 (30,67%)	7 (9,33%)	30 (13,33%)
III makam-Thai	5 (6,67%)	34 (45,33%)	20 (26,67%)	59 (26,22%)
IV Dur-makam	2 (2,67%)	26 (34,67%)	16 (21,33%)	44 (19,56%)
V Thai-Dur	2 (2,67%)	46 (61,33%)	28 (37,33%)	76 (33,78%)
Blöcke insgesamt	12 (3,2%)	158 (42,13%)	80 (21,33%)	

Zählen der devianten Tonleitern: Prozentuale Fehlerrate - unterteilt nach Versuchsanordnung und Kultur - graphisch als Balkendiagramm dargestellt:



5.1.2. Notation der Standard- und Deviantskalen¹

Wie die tabellarische Aufstellung der absoluten Fehler-Häufigkeiten zeigt (Tabelle 3, S. 167ff), sind die meisten Fehler bei der Aufzeichnung der äquiheptatonischen *Thai-Tonleiter* entstanden; vor allem die Thai-Töne 2, 3, 4 sowie 6 und 7 wurden falsch notiert:

Thai-Ton 2 ist, bezogen auf sämtliche Versuchsblöcke (1 bis 5), in insgesamt 20 Fällen höher - d. h. ohne bzw. mit fehlerhaften Zusätzen - dargestellt worden als vom ‚pitch-class-range-Schema‘ (S. 160) her zutreffend gewesen wäre - davon sechsmal in Block 1 sowie jeweils siebenmal in Block 3 und Block 5; die türkischen Probanden lieferten dabei mit zweimal 3 und einmal 4 Fehleinschätzungen den größten Fehleranteil.

Thai-Ton 3 wich ebenso wie die Thai-Töne 4, 6, 7 und 8 von der korrekten Schreibweise sowohl nach oben als auch nach unten hin ab (Thai-Ton 3 insgesamt 16x, Thai-Ton 4: 14x, Thai-Ton 6: 22x, Thai-Ton 7: 21x und Thai-Ton 8: 7x; vgl. Tab. 3).

Thai-Ton 4 wurde durch Pfeilzusätze in 13 Fällen zu tief notiert und lag somit unterhalb der ‚25-Cent-Toleranzgrenze‘.

Bei der Aufzeichnung des *makam Hicaz* hatten die Vpn vor allem Schwierigkeiten, die 6. und 7. Tonstufe korrekt zu fixieren. Beide Töne wurden sowohl zu hoch als auch zu tief notiert (Hicaz-Ton 6: insgesamt 7x; Hicaz-Ton 7: insgesamt 9x). Auch hier waren es in der Hauptsache die türkischen Musiker, welche die Töne 6 und 7 ihrer ‚hauseigenen‘ Skala nicht korrekt aufgezeichnet haben (Ton 6 wurde in Block 3 von zwei türkischen Vpn und in Block 4 von drei türkischen Probanden fehlerhaft gekennzeichnet; Stufe 7 hatten jeweils drei Türken in beiden Anordnungen falsch beurteilt).

¹ Um die vorgespilten Tonleiter-Arten detailgetreu auf dem Aufgabenblatt zu notieren, haben Versuchsteilnehmer folgende Schriftzeichen und Symbole verwendet:

a) Notenköpfe in Kombination mit herkömmlichen Akzidentien (#, b) und einem Pfeilsystem (↑↓), um die feineren Frequenzunterschiede zu markieren. Für diese Notationsart hatten sich sämtliche deutsche Vpn sowie drei der türkischen Musiker entschieden; ein türkischer Musiker hatte zwei der sechs gebräuchlichen Akzidentien aus der türkischen Musik verwendet (‚koma diyezi‘ (Erhöhung um 23 Cents) und ‚bakiye bemolü‘ (Erniedrigung um 90 Cents; vgl. Signell *Makam: modal practice ...*, S. 23f);

b) Solmisationssilben gekoppelt mit dem obigen Pfeilsystem. Für diese Aufzeichnungsform hatten sich zwei türkische Probanden entschieden;

c) die indische Nomenklatur nach Bhatkhande, sog. sargam-Notation (Sa, Re, Ga..., vgl. z.B. Jairazbhoy, S. 35ff), vier der fünf indischen Probanden haben wahrgenommene Tonhöhenabweichungen zwischen den Standard- und Deviant-Skalen mit Pfeilen, Punkten oder waagerechten Strichen ober- und unterhalb der Tonsilben bzw. durch Groß- und Kleinschreibung der entsprechenden Buchstaben gekennzeichnet. Kein Proband hatte bei seiner individuell gewählten Darstellungsart auf die korrekte Anfangstonhöhe (h⁺) geachtet - diejenigen sieben Vpn eingerechnet, die den eigenen Angaben zufolge Absolut Hörer waren.

Bei der *Moll-Skala* stellten sich die 4. Stufe sowie die erniedrigte 6. Stufe als kritische Punkte für die ‚non-westeners‘ heraus (3 (bzw. 1) Falsch-Angabe(n) von Türken (bzw. Indern) bei Moll-Ton 4; fehlerhafte Erhöhung als Aufzeichnungsergebnis von drei türkischen und zwei indischen Vpn bei Moll-Ton 6); die deutschen Probanden hatten die harmonische Moll-Tonleiter erwartungsgemäß fehlerfrei erkannt und notiert.

Weitere Einzelheiten sind der Tabelle 3b (S. 168f) zu entnehmen.

Der **Modalwert**¹ für die Verteilung der Notationsfehler lautet:

a) blockweise, nur für *Deviant*-Skalen:

Block	Deviant	Modalwert	abs. Fehlerhäufigkeit
1	Thai	Ton 2	6
2	harmon. Moll	Ton 6	5
3	Thai	Ton 6	10
4	makam Hicaz	Ton 7	5
5	Dur	Ton 6	2

b) für alle vier Skalenarten unter Umgehung der blockweisen Einteilung:

Skalentyp	Modalwert	abs. Fehlerhäufigkeit ²
Dur	Ton 6	7
harmon. Moll	Ton 6	5
Thai	Ton 6	22
makam Hicaz	Ton 7	9

¹ häufigster Wert einer Meßwerteverteilung.

² Bei diesen Tabellenwerten ist an die unterschiedliche Präsentationshäufigkeit der vier Skalenarten zu denken: Dur (als Standard- bzw. Deviantform) wird im gesamten Experiment 4 x geboten; Moll (Dev): 1 x; die Thai-Skala (als Stan oder Dev): 3 x; der makam Hicaz (als Stan bzw. Dev): 2 x.

Tabelle 3.
Häufigkeitstabelle: Notations-Fehler bei der Aufzeichnung der Standard- und Deviantskalen
(blockweise Darstellung; absolute Häufigkeiten)

a) Gesamt-Stichprobe	Vpn insgesamt (Standard) (n = 15 Vpn)	Vpn insgesamt (Deviant) (n = 15 Vpn)
1. Dur gegen Thai [Tonort Häufigkeit Tonort Häufigkeit Häufigkeit insgesamt]	Dur: 4↑5↑6↑ 1 1 1 2↓3↓ 5↓6↓7↓ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1	Thai: 2↑3↑ 6↑7↑8↑ 6 2 4 2 1 3↓4↓6↓7↓8↓ 2 5 1 3 2 6 4 5 5 5 3
2. Dur gegen Moll	Dur: 3↑4↑ 1 1 3↓ 6↓ 1 2 2 1 2	Moll: 3↑4↑5↑6↑7↑ 1 1 3 5 1 2↓ 4↓ 8↓ 1 3 1 1 1 4 3 5 1 1
3. makam gegen Thai	makam: 2↑ 4↑5↑ 6↑ 7↑ 2 1 1 1 3 4↓ 6↓ 7↓ 1 2 1 2 2 1 3 4	Thai: 2↑3↑4↑5↑6↑7↑8↑ 7 6 1 2 8 5 2 3↓4↓6↓7↓ 2 3 2 4 7 8 4 2 10 9 2
4. Dur gegen makam	Dur: 7↑ 1 2↓3↓ 6↓7↓ 2 1 1 1 2 1 1 2	makam: 2↑3↑4↑5↑6↑7↑8↑ 1 1 1 3 3 4 2 1↓ 3↓4↓ 6↓7↓ 1 1 2 1 1 1 1 2 3 3 4 5 2
5. Thai gegen Dur	Thai: 2↑3↑ 5↑6↑7↑8↑ 7 3 2 6 4 2 1↓ 3↓4↓ 6↓7↓ 1 1 5 1 3 1 7 4 5 2 7 7 2	Dur: 6↑ 1 3↓ 6↓7↓ 1 1 1 1 2 1

b) Aufteilung nach kultureller Zugehörigkeit	Deutsche Vpn	Türkische Vpn	Indische Vpn
1 Dur (Stan)	$2\downarrow$ $\frac{1}{1}$	$4\uparrow 5\uparrow 6\uparrow$ $1\ 1\ 1$ $3\downarrow\ 5\downarrow 6\downarrow 7\downarrow$ $\frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$	0
Thai (Dev)	$2\uparrow\ 6\uparrow\ 8\uparrow$ $1\ 1\ 1$ $3\downarrow 4\downarrow\ 6\downarrow 7\downarrow 8\downarrow$ $\frac{1}{1}\ \frac{3}{1}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{2}$	$2\uparrow 3\uparrow\ 6\uparrow 7\uparrow$ $3\ 1\ 2\ 1$ $3\downarrow 4\downarrow\ 7\downarrow 8\downarrow$ $\frac{1}{3}\ \frac{2}{2}\ \frac{2}{2}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{1}$	$2\uparrow 3\uparrow\ 6\uparrow 7\uparrow$ $\frac{2}{2}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}$
2 Dur (Stan)	0	$3\uparrow 4\uparrow$ $1\ 1$ $3\downarrow\ 6\downarrow$ $\frac{1}{2}\ \frac{2}{1}$	0
Moll (Dev)	0	$3\uparrow 4\uparrow 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow$ $1\ 1\ 2\ 3\ 1$ $4\downarrow\ 8\downarrow$ $\frac{2}{1}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{1}$	$5\uparrow 6\uparrow$ $1\ 2$ $2\downarrow\ 4\downarrow$ $\frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{2}$
3 makam (Stan)	0	$2\uparrow\ 4\uparrow\ 7\uparrow$ $2\ 1\ 2$ $6\downarrow 7\downarrow$ $\frac{2}{2}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{3}$	$5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow$ $1\ 1\ 1$ $4\downarrow$ $\frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}$

Thai (Dev)	$\begin{array}{cccc} 2\uparrow 3\uparrow & 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow & & \\ 2\ 2 & 1\ 3\ 1\ 1 & & \\ 3\downarrow 4\downarrow & 7\downarrow & & \\ 1\ 2 & 2 & & \\ \hline 2\ 3\ 2 & 1\ 3\ 3\ 1 & & \end{array}$	$\begin{array}{cccccccc} 2\uparrow 3\uparrow 4\uparrow 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow & & & & & & & \\ 3\ 3\ 1\ 1\ 2\ 2\ 1 & & & & & & & \\ 3\downarrow & 6\downarrow 7\downarrow & & & & & & \\ 1 & 2\ 2 & & & & & & \\ \hline 3\ 4\ 1\ 1\ 4\ 4\ 1 & & & & & & & \end{array}$	$\begin{array}{cc} 2\uparrow 3\uparrow & 6\uparrow 7\uparrow \\ 2\ 1 & 3\ 2 \\ & 4\downarrow \\ & 1 \\ \hline 2 & 1\ 1\ 3\ 2 \end{array}$
4 Dur (Stan)	0	$\begin{array}{c} 7\uparrow \\ 1 \\ 2\downarrow 3\downarrow \quad 6\downarrow 7\downarrow \\ 2\ 1 \quad 1\ 1 \\ \hline 2\ 1 \quad 1\ 2 \end{array}$	0
makam (Dev)	0	$\begin{array}{cccccccc} 2\uparrow 3\uparrow 4\uparrow 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow & & & & & & & \\ 1\ 1\ 1\ 1\ 2\ 2\ 1 & & & & & & & \\ 3\downarrow & 6\downarrow 7\downarrow & & & & & & \\ 1 & 1\ 1 & & & & & & \\ \hline 1\ 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 1 & & & & & & & \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow & & & \\ 2\ 1\ 2\ 1 & & & \\ 1\downarrow & 4\downarrow & & \\ 1 & 2 & & \\ \hline 1 & 2\ 2\ 1\ 2\ 1 \end{array}$
5 Thai (Stan)	$\begin{array}{cc} 2\uparrow & 6\uparrow \\ 1 & 1 \\ & 4\downarrow \quad 7\downarrow \\ 3 & 1 \\ \hline 1\ 3 & 1\ 1 \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 2\uparrow 3\uparrow & 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow & & \\ 4\ 3 & 1\ 3\ 2\ 1 & & \\ 3\downarrow & 6\downarrow 7\downarrow & & \\ 1 & 1\ 2 & & \\ \hline 4\ 4 & 1\ 4\ 4\ 1 & & \end{array}$	$\begin{array}{cc} 2\uparrow & 5\uparrow 6\uparrow 7\uparrow 8\uparrow \\ 2 & 1\ 2\ 2\ 1 \\ 1\downarrow & 4\downarrow \\ 1 & 2 \\ \hline 1\ 2 & 2\ 1\ 2\ 2\ 1 \end{array}$
Dur (Dev)	0	$\begin{array}{c} 6\uparrow \\ 1 \\ 3\downarrow \quad 6\downarrow 7\downarrow \\ 1 & 1\ 1 \\ \hline 1 & 2\ 1 \end{array}$	0

5.1.3. Benennung / Klassifikation der Tonleitern

Neun der 15 Versuchsteilnehmer - fünf Deutsche, ein Türke und drei Inder - hatten nach dem ERP-Experiment die ihnen bekannt erscheinenden Tonleitern mit Namen versehen. Dabei zeigte sich, daß Benennungen bzw. Klassifikationen stets vor dem Hintergrund der eigenen musikalischen Erfahrung resp. kulturellen Herkunft getroffen wurden (Tabelle 5, S. 173).

Die *Dur-Tonleiter* ist von jedem der neun Probanden eindeutig erkannt und bezeichnet worden. Sie stimmt von der Skalenstruktur mit dem makam Çargah in der türkischen Kunstmusik bzw. dem that Bilaval der nordindischen Musikkultur überein.¹

Für die Bewertung der von den Probanden gegebenen Klassifikationen liefern die Intervall-Besonderheiten der vorgespielten Tonleitern Anhaltspunkte, um nachzuvollziehen, *welche* Benennungen die Versuchspersonen aus dem Tonleiter-„Fundus“ der eigenen Kultur für die ihnen bekannt erscheinenden Skalenformen gewählt hatten.

Kurz-Beschreibung und -Deutung der *von den Vpn gewählten* Bezeichnungs-Varianten:

a) Zur Verbalisierung des Hör-Eindrucks *makam Hicaz* wurden die Begriffe „Zigeuner-Dur“ und „Zigeuner-Moll“ von zwei deutschen Probanden verwendet. Sowohl die Hicaz-Skala als auch ihre Benennungs-Alternativen weisen im ersten Tetrachord einen übermäßigen Sekundschritt (im Fall des makam Hicaz: zwei Dreiviertel-Tonschritte) auf. Anders als der makam sind beide Zigeuner-Tonleitern auch im zweiten Tetrachord durch eine übermäßige Sekunde sowie durch Leittönigkeit gekennzeichnet.

Ein weiterer deutscher Musiker hatte den Ausdruck „melodisch Moll mit einer übermäßigen Sekunde zwischen der 2. und 3. Stufe“ als Bezeichnungsvariante gewählt; in bezug auf Leittönigkeit gibt es im Vergleich zum makam jedoch Unterschiede.

Der nordindische that Bhairav(a), den einer der drei indischen Vpn als Skalename angegeben hatte, ist im ersten Tetrachord mit dem makam Hicaz strukturgleich, ähnelt - mit einer weiteren übermäßigen Sekunde zwischen Stufe 6 und 7 - im zweiten Tetrachord dagegen dem „Zigeuner-Dur“.

¹ vgl. Signell *Makam: modal practice*, S. 24 bzw. Jairazbhoy *The rags of North Indian music*, S. 55f.

Bei der *harmonischen Moll-Tonleiter* war die Aufmerksamkeit der Versuchsteilnehmer offensichtlich primär auf die kleine Terz und erst in zweiter Linie auf den künstlich eingebauten Leitton gerichtet: die Skala wurde von einem deutschen Probanden fehlerhaft als ‚reines Moll‘ etikettiert; ein indischer Musiker hatte bei der Skalen-Benennung auf den genauen Zusatz ‚harmonisch‘ verzichtet.

Sämtliche Bezeichnungsvarianten, die für die *thailändische, äquiheptatonische Tonleiter* verwendet wurden, lassen sich - in stärkerem Maß als es für den makam Hicaz zutrifft - als Ausdruck des sog. ‚Zurechthörens‘¹ interpretieren. So wurde die Thai-Skala von drei deutschen und einem türkischen Probanden mit den herkömmlichen Kirchentönen in Verbindung gebracht und als ‚dorisch‘, ‚phrygisch‘ oder ‚mixolydisch‘ bezeichnet. Jedem dieser drei Modi fehlt der Leitton, ein Umstand, der - von der Intervallgröße aus gesehen - mit dem 171,4 Cent-Schritt zwischen dem 7. und 8. Ton der Thai-Skala übereinstimmt.

Ausgehend von den Skalen-Bezeichnungen - allgemeiner gesagt: von der Ebene der Apperzeption - lassen sich keine eindeutigen Rückschlüsse in bezug auf die Perzeption des Tonleitermaterials ziehen. Unpräzise und fehlerhafte Klassifikationen können zwar Indizien für einen ungenauen Wahrnehmungseindruck sein, doch sind a) Erinnerungsmängel beim Ausfüllen des Fragebogens nach Versuchsende oder b) das zur Beschreibung von anders strukturiertem Tonmaterial offensichtlich nur begrenzt zu gebrauchende Fachvokabular der eigenen Musikkultur ebenso gut als Fehlerquellen denkbar.

1 A. Schneider definiert den Ausdruck ‚Zurechthören‘ auf folgende Weise: „...deviations in intonation which do not exceed the range of *tonal zones* or similar limits of tolerance, will be perceived in a mode which Hugo Riemann (1914/15) and others have discussed under the label of *Zurechthören*, that is, spontaneous correction of wrong intonations in apperception according to acquired scale concepts, compositional structures, and syntactic categories in general.“ (A. Schneider „Tone system ...“, S. 237). Und J.P. Fricke merkt an: „... das Hören [besitzt] mit dem Zurechthören eine Eigenschaft, welche die bei der Realisierung der Tonhöhen auftretenden Abweichungen in gewissem Umfang verdeckt ... das Zurechthören [bietet] den Realisationen einen Spielraum, innerhalb dessen sich die ausdrucksbedingten Intonationsänderungen ebenso wie die durch eine begrenzte Intonationsgenauigkeit sich ergebenden Abweichungen streuen und verarbeitet werden ...“ (J.P. Fricke *Intonation und musikalisches Hören*, S. 5 und 6).

Tabelle 4.

Häufigkeitstabelle: Benennung/Klassifikation der als ‚bekannt‘ eingestuften Skalenformen (n = 9)

Skalentypus	Deutsche Vpn	Türkische Vpn	Indische Vpn	Vpn insgesamt
Dur	5	1	3	9
Moll a) ohne nähere Angaben			1	1
b) natürlich	1			1
c) harmonisch	3	1	1	5
makam Hicaz				0
a) Zigeuner-Dur	1			1
b) Zigeuner-Moll	1			1
c) Varianten mit weiteren Zusätzen	1			1
d) thât Bhairav(a)			1	1
äquidistante				0
Thai-Leiter				
Kirchentonarten				
a) dorisch		1		1
b) phrygisch	2			2
c) mixolydisch	2	1		3

Tabelle 5.

Cent-Werte: Präsentierte Tonleiterformen und individuell gewählte, kulturspezifische (aufsummiert) Bezeichnungsvarianten im Vergleich

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1. Dur	0	200	400	500	700	900	1100	1200
1a. makam Çargâh	0	204	408	498	702	906	1110	1200
1b. that Bilaval	0							
2. harmon. Moll	0	200	300	500	700	800	1100	1200
2a. reines Moll	0	200	300	500	700	800	1000	1200
3. makam Hicaz	0	114	385	499	703	883	997	1201
3a. Zigeuner-Dur	0	100	400	500	700	800	1100	1200
3b. Zigeuner-Moll	0	200	300	600	700	800	1100	1200
3c. melod. Moll mit ü2 zw. und III	0	100	400	500	700	900	1100	1200
3d. that Bhairav	0	100	400	500	700	800	1100	1200
4. Thai-Skala	0	171,4	342,8	514,2	685,6	857	1028,4	1199,8
4a. dorisch	0	200	300	500	700	900	1000	1200
4b. phry- gisch	0	100	300	500	700	800	1000	1200
4c. mixo- lydisch	0	200	400	500	700	900	1000	1200

Im Fragebogen wurde außerdem eine fünfstufige Rating-Skala verwendet, sie sollte Aufschluß über die *Hörstrategie* während der Reiz-Darbietung geben: Sieben der 15 Versuchsteilnehmer (drei Deutsche, zwei Türken, zwei Inder) hatten, dem Rating-Ergebnis zufolge, in der Wahrnehmungsphase *zu gleichen Teilen* auf die Tonleiter als übergeordnetes Ganzes¹ und auf ihre Binnenstruktur geachtet. Ein anderer deutscher Musiker hatte sich indessen primär am Global-Eindruck, d.h. am Tonleiter-Pattern *als Ganzem* orientiert. Für sechs Probanden war der *einzelne* Intervall-Schritt beim Durchhören der Skalen maßgeblich: Fünf ‚non-westeners‘ (drei türkische und zwei indische Vpn) sowie ein deutscher Dirigenschüler haben die Aufmerksamkeit vorwiegend oder ausschließlich auf das Sekund-Detail (d.h. die sukzessive Schritt-Abfolge) einer jeden Tonleiter gerichtet - das Ergebnis steht mit der Musizierpraxis von Indern und Türken in Einklang, deren strukturell differenzierte Tonsysteme eine größere Anzahl diskreter Tonstufen als dasjenige der abendländischen Kunstmusik aufweisen (Materialtonleiter der indischen klassischen Musik: 22 Mikrintervalle (srutis) pro Oktave; türkische Kunstmusik: Verwendung von fünf verschiedenen *Sekundschritten*).²

Freie, musikbezogene *Assoziationen* stellten sich in der Hörphase offensichtlich nur bei einem Inder und zwei deutschen Probanden ein, wobei die deutschen Musiker den makam Hicaz zeitweise mit folkloristischer Musik aus Spanien und vom Balkan in Verbindung brachten. Die fünf türkischen Versuchsteilnehmer hörten sämtliche Skalen *assoziationsfrei*.

Zum Abschluß dieses Deskriptiv-Abschnitts soll die Frage nach einem möglichen inhaltlichen Zusammenhang zwischen den nominalskalierten Variablen ‚Tonleiter-Benennung‘ und ‚Tonleiter-Notation‘ anhand von vier **Kontingenztafeln**³ erörtert werden (Tab. 6, Stichprobenumfang: **n = 9 Vpn** (fünf Deutsche, drei Inder sowie ein türkischer Proband)).⁴

¹ vgl. M. Wertheimer und andere Verfechter der Gestaltpsychologie.

² vgl. Danielou *Einführung in die indische Musik*, S.36 bzw. Signell *Makam: modal practice*, S. 22f.

³ Eine bivariate Häufigkeitsverteilung mit k Zeilen und m Spalten (k x m Feldern) wird als ‚Kontingenztafel‘ bezeichnet. Jede beobachtete Merkmalskombination läßt sich eindeutig einer Zelle zuordnen. Unterschiede zwischen den beobachteten Häufigkeiten und den erwarteten Häufigkeiten können mit dem X²-Test auf Signifikanz geprüft werden. Auf eine statistische Signifikanzprüfung wird an dieser Stelle verzichtet, die Kontingenztafel nur als ein beschreibendes Instrument gehandhabt.

⁴ Neun der insgesamt 15 Probanden hatten im Anschluß an die Meßphase die ihnen vertraut erscheinenden Tonleitern mit Namen versehen.

Acht der neun Probanden hatten die *Dur-Tonleiter* richtig bezeichnet und fehlerfrei notiert. Bei der *harmonischen Moll-Skala* zeigte sich ein eher heterogenes Bild: Sie wurde von sämtlichen deutschen Musikern fehlerfrei skizziert, doch nur von drei Deutschen zugleich auch mit richtigem Namen versehen. Zwei indische Versuchsteilnehmer fügten zur Moll-Bezeichnung keine genauen Zusätze hinzu und hatten sich darüberhinaus - wie der türkische Musiker - bei der Notation vertan. Die *thailändische Skala* wurde von sämtlichen neun Probanden fehlerhaft aufgezeichnet; zudem hatten sie fünf Musiker falsch benannt, die übrigen vier verzichteten gänzlich auf eine Klassifikation. Beim *makam Hicaz* stellten sich sechs von neun Notationen als fehlerfrei heraus; zur Benennung der Skala hatten die vier Deutschen, der indische sowie der türkische Musiker schlüssige, wenn auch inkorrekte Termini gewählt, die von der originären musikalisch-kulturellen Erfahrung der Probanden her erklärt werden können.

Deutungsversuch:

Die aufgelisteten beobachteten Häufigkeiten lassen vermuten, daß sich im Notieren und Benennen von Tonleitern zwei verschiedene kognitive Prozesse der Informationsverarbeitung abbilden: Der Vorgang des ‚Bezeichnens‘ setzt ein Aktivieren des gespeicherten Vokabulars verbunden mit einem Sich-Vergegenwärtigen der Leiterstruktur voraus und ist damit dem kognitiven Vorgang des ‚retrieval‘, d.h. des ‚Abrufens‘ bzw. der Wiederverfügbarkeit von im Langzeitgedächtnis gespeicherter Information nach Aktivierung der entsprechenden Gedächtnisstrukturen zuzuordnen. Das Skizzieren von Tonleitern mit Hilfe von Noten- und Silbenschrift stellt demgegenüber ein Fixieren des *aktuellen* Wahrnehmungsinhalts dar, der als ‚Input‘ im Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsspeicher) vorgelegen hat. Statistisch gesehen ist die Unabhängigkeit zwischen den Variablen ‚Benennung‘ und ‚Notation‘ in der Hauptsache bei der Skala ‚harmonisch Moll‘ evident: hier geht die Merkmalsklasse ‚richtige Notation‘ mit den Beobachtungsstufen ‚richtige, falsche oder fehlende Benennung‘ einher; folglich ist kein statistischer Zusammenhang zwischen beiden Variablen aufzuzeigen. Feste internalisierte Skalenmodelle - wie die *Dur-Tonleiter* - lassen dagegen einen direkten Zusammenhang zwischen den Variablen ‚Bezeichnung‘ und ‚Notation‘ erkennen: die Merkmalsklassen ‚richtige Notation‘ und ‚richtige Benennung‘ koinzidieren in acht von neun Fällen.

Ob sich im Aufzeichnen und Klassifizieren von Tonmaterial - vom inhaltlichen Standpunkt aus - tatsächlich zwei separate und zeitlich versetzte kognitive Vorgänge widerspiegeln - d.h. ob der ‚Notation‘ ein kognitiver Primär- und der ‚Klassifikation‘ ein kognitiver Sekundärprozeß zugrundeliegt, muß anderswo nachgewiesen werden. Die vorliegende bivariate Häufigkeitsverteilung gibt dazu keinen Aufschluß.

Tabelle 6.

Kontingenztafeln für die Variablen ‚Benennung‘ und ‚Notation‘ (ohne Signifikanztest (n = 9 Vpn)):

Dur	Benennung richtig	Benennung falsch	Benennung unvollständig	Keine Angaben
Notation richtig	4 Deutsche 1 Türke 3 Inder			
Notation falsch	1 Deutscher			

harmon. Moll	Benennung richtig	Benennung falsch	Benennung unvollständig	Keine Angaben
Notation richtig	3 Deutsche 1 Inder	1 Deutscher		1 Deutscher
Notation falsch	1 Türke		2 Inder	

makam Hicaz	Benennung richtig	Benennung falsch	Benennung unvollständig	Keine Angaben
Notation richtig		4 Deutsche 1 Inder		1 Deutscher
Notation falsch		1 Türke		2 Inder

Thai-Skala	Benennung richtig	Benennung falsch	Benennung unvollständig	Keine Angaben
Notation richtig				
Notation falsch		3 Deutsche 1 Türke 1 Inder		2 Deutsche 2 Inder

Exkurs:

Lassen die ERP-Kurven des Hauptversuchs zugleich Rückschlüsse über die dazugehörenden Deskriptiv-Befunde zu?

Wie auf den Seiten 157ff bzw. 162ff dargelegt, sind in diesem Deskriptivabschnitt Ergebnisse zu drei Arten von Aufgaben zu finden: a) Resultate von sämtlichen 15 Vpn, die sich auf das Zählen der devianten Tonleitern beziehen¹, b) 15 graphische Darstellungen der Standard- und Deviant-Skalen in Noten- oder Tonsilbenschrift sowie c) Tonleiter-Bezeichnungen, die von neun der 15 Musiker-Probanden im Rahmen der gestellten Klassifizierungsaufgabe gegeben wurden.

Diesen ‚behavioral data‘ stehen die hirnpfysiologischen Reaktionen der 15 Versuchsteilnehmer pro Ton und Elektrodenposition gegenüber.

Es liegen vor: a) von Hand ausgemessene Amplituden- und Latenzwerte einzeln für jede Versuchsperson und b) ereigniskorrelierte Spannungsverläufe in Form von grand averages (Summenkurven), zusammengefaßt für jede Kulturgruppe (n = 5 Vpn).

Es stellt sich somit die Frage, ob man Verbindungen zwischen den ‚behavioral data‘ und den ‚ERP data‘ herstellen bzw. - vom Prinzip her - aus unmittelbar registrierten bioelektrischen Spannungskurven Rückschlüsse auf die dazugehörenden Deskriptiv-Ergebnisse ziehen kann, die vom Versuchsteilnehmer zeitversetzt protokolliert wurden.²

Nach meiner Auffassung läßt das gewählte Versuchsparadigma nur eine *separate* Darstellung, ein Nebeneinander von beschreibenden und ERP-Ergebnissen, nicht aber eine Konklusion, einen Rückbezug zu. Der Grund ist im Mittelungsvorgang (signal averaging) an sich als einer notwendigen technischen Voraussetzung für die Untersuchung von evozierten Potentialen zu suchen: Ursprüngliche *Einzel-Durchgänge* (trials) gehen bei der probandenweisen Mittelung und Einzel-ERP-Kurven beim gruppenweisen Bilden von grand averages (Summenkurven) verloren.

¹ Das *Zählen* von Deviants ist eine Standard-Aufgabe im Rahmen des oddball-Paradigmas. Es hat lediglich die Funktion, die Aufmerksamkeit des Probanden konstant zu halten.

² dazu auch Sprung und Sprung *Grundlagen der Methodologie*, S. 287f.

Das bedeutet konkret für Punkt a) bis c):

- a) (Artefaktfreie) Einzel-Durchgänge (trials), die für einen direkten ‚behavioral-ERP-Vergleich‘ (Zählen der devianten Tonleitern - Potentialkurve) hätten herangezogen werden können, lagen nach Anwendung der Mittelungstechnik nicht mehr vor. Grand averages über mehrere trials oder Versuchspersonen geben somit keinen Aufschluß über ein korrektes oder falsches *Zähl*-Ergebnis, das in den kurzen Pausen während einer experimentellen Sitzung notiert werden sollte.
 - b) Untersucht man die (gemittelten) ereigniskorrelierten Potentialkurven von einzelnen Versuchspersonen unter dem Aspekt ‚*Aufzeichnungsfehler*‘ (zu hoch oder zu tief notierte Tonleitertöne), so sind keine auffälligen Abweichungen im Spannungsverlauf zu beobachten. Ein Rückschluß von elektrophysiologischer Aktivität auf eine richtig oder falsch notierte Skalen-Struktur ist damit nicht möglich.
 - c) in Hinblick auf das *Benennen* von Skalen ist ein Herleiten von Deskriptiv-Befunden aus ERP-Resultaten ohnehin nicht sinnvoll. Da hirnelektrische Signale *simultan* zu Perzeptionsvorgängen registriert worden sind, lassen sich aus gewonnenen ERP-Kurven keine weiteren Rückschlüsse über kognitive Sekundärprozesse bzw. nachgeschaltete Apperzeptionsvorgänge der globalen Art - wie etwa dem erbetenen Klassifizieren von Tonleitern - ziehen.
-

5.2. Ergebnisse der ERP-Auswertung

5.2.1. Der Pretest

Folgende Aspekte des Untersuchungsdesigns wurden anhand des Vorversuchs empirisch überprüft (n = 8 Vpn):

- a) das oddball-Paradigma per se mit seiner ungleichen Präsentationsrate von Standard- und Deviant-Skalen
- b) die Wirkung des Faktors ‚Klangfarbe‘ auf ereigniskorrelierte Potentiale sowie
- c) das Meßgüte-Kriterium ‚Reliabilität‘.

Die Auswertung des Pretests bestand in einer visuellen Inspektion der *einzelnen* für jeden Probanden gemittelten ERP-Kurven an den Meßpunkten Fz, Cz und Pz (ohne ein zusätzliches Erstellen von grand averages). Zielsetzung war es, den N1/P2-Komplex für jeden Ton eines Skalenblocks zu bestimmen sowie mögliche P300-Wellen innerhalb des Latenzbereichs ‚270 msec bis 430 msec‘ ausfindig zu machen.¹ Im Zeitfenster von ‚430 msec bis 540 msec‘ trat außerdem eine unvermutete negative Potentialverschiebung auf (‚negative shift‘), die im Pretest sowie im Hauptversuch als weitere wichtige ERP-Komponente berücksichtigt, analysiert und interpretiert worden ist.

Anders als im Hauptexperiment wurde im Vorversuch auf den Einsatz statistischer Prüfverfahren zum Vergleich von Amplituden- und Latenzwerten verzichtet und lediglich das Kurvenverhalten unter jeweils variierten Untersuchungsbedingungen beschrieben:

Die Ergebnisse lauten:

1. N1-/P2-Komplex
 - a) eine Änderung der Tonleiter-Präsentationsrate hatte auf die Ausbildung der Potentialkomponenten N1 und P2 keinen Effekt: N1- und P2-Wellen waren - unabhängig von der Tonstufe, dem Standard-Deviant-Modus und der Elektrodenplatzierung - sowohl

¹ Aufgrund der geringen Probanden-Zahl sind sämtliche Pretest-Ergebnisse mit einer gewissen Einschränkung zu betrachten.

im (klassischen) oddball-Paradigma (Stan-Dev-Relation: 80/20) als auch bei gleicher (zufallsmäßiger) Verteilung von Standard- und Deviant-Skalen (Stan-Dev-Relation: 50/50) vorhanden.

b) der Faktor *Klangfarbe* hatte auf die Ausprägung des N1/P2-Komplexes ebenfalls keinen Einfluß: N1- und P2-Komponenten traten bei allen acht Tönen der synthetisch generierten Dur-, Thai- und Mollskalen sowie gleichermaßen bei Leitertönen von „natürlichem“ Klavier-, Ud- und Geigentimbre auf.

c) das Meßgütekriterium *Reliabilität* war in bezug auf die N1- und P2-Komponente erfüllt: der N1/P2-Komplex war auch bei Zweitpräsentation der Blöcke Dur-Thai, Dur-Moll und Dur-makam für jede Tonstufe unabhängig von der Präsentationsrate, dem Stan-Dev-Modus, der Klangfarbe und der Elektrodenplatzierung ausgeprägt.

Die Pretest-Ergebnisse bestätigen somit die in der Literatur allgemein vertretene Auffassung, den N1/P2-Komplex als Ausdruck einer „onset response“¹ zu beschreiben. Die „onset response“ indiziert bei jedem Ton die automatisch einsetzende bzw. unwillkürlich ausgelöste Änderung eines zuvor konstanten Energie-Niveaus (off-on-switching).

2. P3-Komponente a) wurde der prozentuale Anteil an Deviant-Skalen von 20% auf 50% erhöht (gleiche, zufallsmäßige Stan-Dev-Verteilung), so hatte diese Modifikation ein geändertes Verhalten der P3-Komponente zur Folge: P3-Antworten traten lediglich bei einer Stan-Dev-Relation von 4 : 1 (80% / 20%) für Tonstufen der *Deviant*-Skalen auf (vorwiegend an Elektrodenposition Pz). P3-Ausprägungen bei einem Stan-Dev-Verhältnis von 1 : 1 (50% / 50%) waren von der Anzahl her gering und konnten deshalb vernachlässigt werden.

¹ vgl. S. 21, diese Arbeit. Die von Näätänen und Picton beobachtete Amplitudenreduktion der N1 aufgrund von Habituation innerhalb eines „brief train of auditory stimuli“ (hier: Tonleitersequenzen) (vgl. „The N1 wave of the human electric and magnetic response“, *Psychophysiology*, 1987, S. 396) stand in der Voruntersuchung nicht zur Diskussion; es wurde nur auf das Vorhandensein von Komponenten *an sich* geachtet.

b) der Einfluß der Klangfarbe wirkte sich eher ungünstig auf die Ausbildung der P3-Komponente aus: P3-Antworten waren bei Präsentation von Komplexreizen/-tönen¹ (Klavier-, Ud- bzw. Geigentöne) in den Blöcken Dur-makam sowie Dur-Dur äußerst selten zu beobachten; rein synthetisch generierte *Deviant*-Skalen (Moll und Thai) riefen im Unterschied dazu eindeutige P3-Reaktionen an mehreren Tonpunkten hervor.

c) das Reliabilitätskriterium war nicht erfüllt: P3-Komponenten traten als Reaktionen auf deviante Töne in einigen Fällen nur in *einem* der beiden Durchläufe (Erstmessung oder Wiederholungsmessung) auf. Eine P3-Komponente, die bei der Erst-, nicht aber bei der Zweitmessung an Elektrodenposition Pz vorhanden war, läßt auf einen Habituationseffekt², die umgekehrte Reihenfolge indessen auf eine Zunahme der allgemeinen Aufmerksamkeit schließen.

3. Negative Potential-

verschiebung:

a) die variierte Darbietungshäufigkeit von Standard- und Deviant- Skalen hatte auf die Anzahl an Negativierungen keine Auswirkung:

Negative Potentialverschiebungen als Reaktionen auf deviante Töne waren im Block Dur/Thai sowohl bei einer prozentualen Wahrscheinlichkeit von 80% / 20% als auch bei einer Darbietungshäufigkeit von 50% Standard- und 50% devianten Tonleitern vorhanden.

b) der Klangfarben-Effekt ging mit einer deutlichen Zunahme an Negativierungen im Zeitintervall von 430 msec bis 540 msec einher: ‚Negative shift‘-Reaktionen traten bei *synthetischem* Tonmaterial nur an bestimmten *devianten* Tonpunkten auf (Thai-Skala: Ton 3, 6 und 8; Moll-Tonleiter: Ton 6 und 7). ‚*Natürliche*‘ Klavier-, Ud- und Geigentöne

¹ vgl. Roederer *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, S.160 bzw. Bruhn/Oerter/Rösing *Musikpsychologie*, S. 102.

² vgl. Fußnote 1, S. 23.

hatten dagegen negative Potentialverschiebungen an Fz, Cz und Pz sowohl im Standard- als auch im Deviant-Modus zur Folge (Tonpunkte: stan2, dev3, stan4, stan6, dev6, stan7, dev7, stan8, dev8).

c) das Gütekriterium ‚Reliabilität‘ in bezug auf negative Potentialverschiebungen war in stärkerem Maß für Leitertöne von ‚natürlicher‘ Klangfarbe als für synthetisch erstellte Skalentöne erfüllt: bei der Zweitpräsentation des Dur-makam-Blocks (‚natürliche‘ Klavier- und Ud-Töne) bildete sich eine Negativierung für drei Standard- und zwei Deviant-Töne aus; im Fall der synthetisch generierten Thai- und Moll-Skalen war dieser Sachverhalt nur für zwei deviante Leiterstufen zu beobachten (Thai-Skala: dev 6 (Darbietungshäufigkeit: 20%); Moll-Skala: dev 6 (Präsentationswahrscheinlichkeit: 50%)).

Folgerungen für den Hauptversuch:

1. Die ‚verschobene‘ Präsentationsrate, d.h. das Ungleichgewicht zwischen den Deviant- und Standard-Skalen, hatte sich im Vorversuch als entscheidender Faktor für die Ausprägung einer P3-Komponente herausgestellt (Verhältnis Deviant zu Standard 1 : 4 anstelle von 1 : 1), im Hauptversuch wurde deshalb ausschließlich das in der P300-Forschung standardisierte ‚oddball‘-Paradigma verwendet.¹

Die Anwendung des ‚oddball‘-Paradigmas bringt jedoch einen methodisch bedingten Nachteil mit sich, der sich in Untersuchungen zum P3-Verhalten offensichtlich nicht umgehen läßt: die Konfundierung der Faktoren ‚Skalenstruktur‘ und ‚subjektive Stimulus-Wahrscheinlichkeit‘.

2. Aufgrund zusätzlicher unübersichtlicher Effekte (die sich in einer verringerten Anzahl an P300-Komponenten sowie einer Zunahme an ‚negative shifts‘ äußerten; vgl. Punkt 2b und 3b) ist der musikalische Parameter ‚Klangfarbe‘ im Hauptversuch nicht miteinbezogen worden. Als Klangmaterial standen dort ausschließlich synthetisch generierte Töne zur Verfügung, ihre spektrale Zusammensetzung wurde konstant gehalten.

¹ Die klassische prozentuale ‚oddball‘-Aufteilung beträgt 80% Standard- zu 20% Deviant-Skalen; sie wurde im Hauptversuch abgeändert zu: 75% Standard- vs. 25% Deviant-Skalen.

3. Das Kriterium der ‚Reliabilität‘ zur Kennzeichnung des Genauigkeitsgrads einer Messung ist im Bereich der Psychophysiologie keineswegs selbstverständlich, es wird in der Fachliteratur selten explizit erwähnt. Aufmerksamkeitsschwankungen und die psychische Verfassung der Versuchsteilnehmer sind zwei wichtige Ursachen, die bei einer Erst- und einer Zweitmessung zu möglichen Amplituden- und Latenz-Unterschieden führen können.

Roth et al. stellen fest:¹

In spite of the need, very little information is available on the reliability of averaged electroencephalographic (EEG) procedures ... To a certain extent this neglect was justified by the fact that the precise reliability of a test is determined by the specific details of the test paradigm, and the paradigms used to elicit the contingent negative variation (CNV) or other evoked potentials (EPs) are not standardized ...

Ähnlich äußern sich auch Minow et al.:²

Für psychometrische Verfahren ist es selbstverständlich, Gütekriterien anzugeben. Nur wenn Daten zu Objektivität, Reliabilität und Validität vorliegen, gilt der Einsatz eines neuropsychologischen Tests als gerechtfertigt und wissenschaftlich begründet. Neurophysiologische Methoden hingegen wurden bislang nicht in gleicher Weise kritisch bewertet. Selbst häufig in Studien untersuchte neurophysiologische Phänomene, wie die Welle P3, sind in bezug auf ihre Zuverlässigkeit nur unzureichend überprüft.

Im Pretest der vorliegenden Arbeit wurde das Reliabilitätskriterium mit Hilfe der Re-Test-Methode überprüft (vgl. S. 146); es war nur mit Blick auf die ‚onset response‘ (N1/P2-Komplex) gänzlich erfüllt. Wegen des großen Auswertungs-Aufwandes habe ich im Hauptversuch auf das Durchführen von Wiederholungsmessungen zur Untersuchung der Replizierbarkeit sämtlicher ERP-Daten verzichtet.³

¹ Roth et al. ‚Reliability of the Contingent Negative Variation ...‘, 1975, S. 45.

² Minow et al. ‚Gütekriterien von Parametern der kognitiven evozierten Welle P3‘, 1996, S. 265f.

³ hierzu auch Kap. 7.4..

5.2.2. Der Hauptversuch

Sämtliche ERP-Ergebnisse aus den fünf Block-Anordnungen des Hauptversuchs wurden auf zwei Arten ausgewertet:

1. durch visuelle Inspektion der Summenkurven (grand averages). Sie wurden für jeden Skalenton, jede Kulturgruppe (Deutsche, Türken, Inder), jede Moduszugehörigkeit (Stan, Dev) und Elektrodenposition (Fz, Cz, Pz) erstellt. Nur solche grand averages sind in der Analyse berücksichtigt worden, die einen - nach meinen Kenntnissen - korrekten Kurvenverlauf (mit N1/P2-Komplex) im gesamten Latenzbereich von 0 msec bis 540 msec aufwiesen.¹

Die ereigniskorrelierten Potentiale werden im folgenden Abschnitt optisch in zwei Formen präsentiert:

- a) **pro Skalenton, Nation (Kulturgruppe) und Elektrodenposition:** Hier sind Standard- und Deviant-Potentiale in Skizzen zu jeweils **zwei** Kurven zusammengefaßt und beziehen sich auf denselben Tonort, dieselbe Tonleiter-Stufe. Die zugrundeliegenden Reize (Ton der jeweiligen Standard- und Deviant-Skala) sind von der Nummerierung her also identisch, vom Frequenzwert jedoch verschieden.
 - b) **pro Skalenton, Moduszugehörigkeit und Elektrodenposition:** Skizzen mit je **drei** Kurven geben eine Übersicht über die ereigniskorrelierten Potentiale von deutschen, türkischen und indischen Probanden als hirnelektrische Antwort auf den jeweiligen Standard- oder den Deviant-Ton - nachfolgend auch ‚Kultur grand averages‘ genannt. Das erlaubt, die Amplitudengröße von lokalen Extrempunkten ‚kulturbezogen‘ miteinander zu vergleichen (Beispiel: S. 189, Abb. 52).
2. in 2 x 20 Varianzanalysen, die mit den Prozeduren ONEWAY und MANOVA in SPSS durchgeführt wurden. ‚Input‘ waren Amplituden- bzw. Latenzwerte, die a) im Latenzfenster ‚270 msec bis 430 msec‘ (nachfolgend ‚Latenzfenster 1‘ genannt) in Hinblick auf eine P300-Komponente und b) im Latenzbereich von 430 msec bis

¹ Summenkurven sind in ‚ungeglättetem‘ Zustand abgebildet, da das equipment zum Einsatz spezieller Filterungs-Methoden (z.B. Wiener Filterung) fehlte.

540 msec („Latenzbereich 2“) in bezug auf eine negative Potentialverschiebung („negative shift“) gemessen worden waren. Beobachtungen zum N1/P2-Komplex wurden rein deskriptiv dargestellt und lediglich dessen tendenzielles Verhalten in den Skalenfolgen beschrieben.^{1,2}

¹ Das „off-Potential“, das von M. Besson und F. Macar in Untersuchungen zur Verarbeitung von devianten Endungen (incongruity of the last stimulus) im Kontext von Sätzen, geometrischen Mustern, bekannten Melodien und Tonleitern mit einer Latenz von 100 msec bis 150 msec nach „stimulus offset“ an allen Elektrodenpositionen beobachtet werden konnte (vgl. Besson/Macar „An event-related potential analysis of incongruity ...“, 1987, S. 21), wurde in dieser Arbeit nicht näher berücksichtigt.

² Sämtliche nachfolgend dargestellten Ergebnisse erfahren aufgrund der kleinen Stichprobengröße ($n = 3 \times 5$ Vpn) in ihrer Gültigkeit eine gewisse Einschränkung (zum Problem der externen Validität vgl. z.B. Sprung und Sprung *Grundlagen der Methodologie*, S. 169f sowie Kap. 7.4., diese Arbeit).

5.2.2.1. Block 1: Dur-Standard versus Thai-Deviant

Die grand averages für die Töne 1 bis 8 der Dur-Standard- und Thai-Deviant-Skala weisen im Latenzbereich von 95 msec bis 185 msec einen **N1/P2-Komplex** an allen drei Elektrodenpositionen auf. Die Reaktion auf den stimulus-onset ist bei deutschen, türkischen und indischen Probanden zu beobachten. Eine Amplitudenreduktion aufgrund eines Habituationseffekts ist weder für die Tonfolge 1 bis 8 der Dur-Leiter noch für die acht Töne der Thai-Skala festzustellen. Deutsche Vpn zeigen bei den Dur-Tönen 6 und 7 eine um 30 msec Latenzzeit verzögerte N1-Komponente an Fz und Cz.

Ton 1:

Dur- und äquiheptatonische Thai-Tonleiter stimmen in bezug auf den Anfangston überein ($h' = 493,88$ Hz). Aufgrund des fehlenden Frequenzunterschieds sind bioelektrische Spannungs-Differenzen zwischen dem ersten Standard- und dem ersten Deviant-Potential wenig wahrscheinlich. Dennoch entspricht keine Probandengruppe den Erwartungen:

Indische und türkische Versuchsteilnehmer prägen eine **P3-Komponente** im Latenzbereich 1 als Reaktion auf den ersten Thai-Ton aus (Fz bzw. Fz und Cz, vgl. Abb. 49). Sie hebt sich deutlich von den Spannungswerten des Dur-Potentials ab. Deutsche Musiker zeigen (an Fz) einen kleinen P3-peak in der Verlaufsform der *Dur*-Summenkurve. (Amplituden-Meßdaten: Deutsche: 4,18 μ V (Fz) Türken: 4,97 μ V (Fz) und 4,45 μ V (Cz) Inder: 1,51 μ V (Fz)). Der t-Test für abhängige Stichproben gibt dazu kein signifikantes Ergebnis.

Ton 2:

Thai-Ton 2 löst ein Spannungspotential aus, das für sämtliche Kulturgruppen im Latenzbereich 2 eine **negative Verschiebung** mit einem lokalen Hochpunkt ergibt. Die Höhe des Gipfels unterscheidet sich deutlich vom ‚Bezugs‘-Amplitudenwert der zugehörigen Dur-Kurve (aM- und SD-Werte: siehe Tabelle). Deutsche Probanden zeigen auch für den *Dur*-Ton eine Negativierung an allen drei Elektrodenpositionen (Abb.50). Die Amplituden-Differenz

zwischen dem Dur-Standard- und dem Thai-Deviant-Potential (Fz, Cz und Pz) ist bei ihnen somit erheblich geringer ausgeprägt als bei türkischen Vpn (an Fz und Cz) und bei indischen Probanden (an Fz, Cz und Pz, Abb. 51). Der t-Test für abhängige Stichproben ($n = 15$ Vpn) belegt diesen - für sämtliche Kulturgruppen zu beobachtenden - Amplitudenunterschied mit drei signifikanten Ergebnissen: Fz: $t(14) = 2,49$ $p < 0,05$ Cz: $t(14) = 3,73$ $p < 0,01$ Pz: $t(14) = 3,88$ $p < 0,01$.

Sortiert man die Summenkurven nach dem Kultur-Aspekt (nachfolgend ‚Kultur grand averages‘ genannt; Abb.52 und 53), so unterscheiden sich die Negativierungen der Versuchsteilnehmer in Hinblick auf den Thai-Ton kaum voneinander. Diese zweite Form der optischen Datenaufbereitung zeigt jedoch noch einmal, daß die drei ERP-Kurven als Reaktion auf den Standard-Dur-Ton im Latenzbereich 2 verschieden ausfallen (Abb.52). Der F-Test (ONEWAY) bringt für den Dur-Ton an Position Fz und Cz signifikante Ergebnisse. Sie lauten: Fz: $F(2/12) = 5,26$ $p < 0,05$ und Cz: $F(2/12) = 6,57$ $p < 0,05$. Der Scheffé-Test spezifiziert das allgemeine Resultat und führt es - bei einem $\alpha = 5\%$ -Niveau - auf den signifikanten Amplitudenunterschied zwischen den Negativitäten von deutschen und indischen Probanden zurück.

Das Ergebnis zur **Varianzaufklärung** für Dur-Ton 2 zeigt, daß sich im zweiten Latenzbereich 46,7% der Gesamt-Varianz an Fz sowie 52,3% der Gesamt-Varianz an Cz durch den Gruppierungsfaktor (das Treatment) ‚Kultur‘ erklären lassen.

**Tabelle 7. Amplitudenmittelwerte (und Standardabweichungen)
Block 1, Ton 2: Latenzfenster 2, Fz, Cz und Pz; drei Kulturgruppen¹**

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton2	Stan	Dev	Diff. aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-6,25 (2,55)	-6,34 (2,6)	0,09	-6,94 (2,48)	-9,35 (4,37)	2,41	-5,81 (2,62)	-10,24 (4,88)	4,43
Türk. Vpn	-2,26 (2,94)	-5,62 (3,27)	3,36	-2,71 (2,06)	-7,44 (3,76)	4,73			
Ind. Vpn	-0,78 (2,78)	-4,87 (5,24)	4,09	-1,64 (2,744,09)	-5,75 (6,52)	4,11	-2,45 (3,18)	-5,74 (7,45)	3,29

¹ Tabellen mit Amplitudenmittelwerten für Block 2 bis 5 (beide Latenzbereiche) befinden sich im Anhang; aus Gründen der Vollständigkeit sind dort auch die aM-/SD-Tabellen für Block 1 noch einmal abgedruckt.

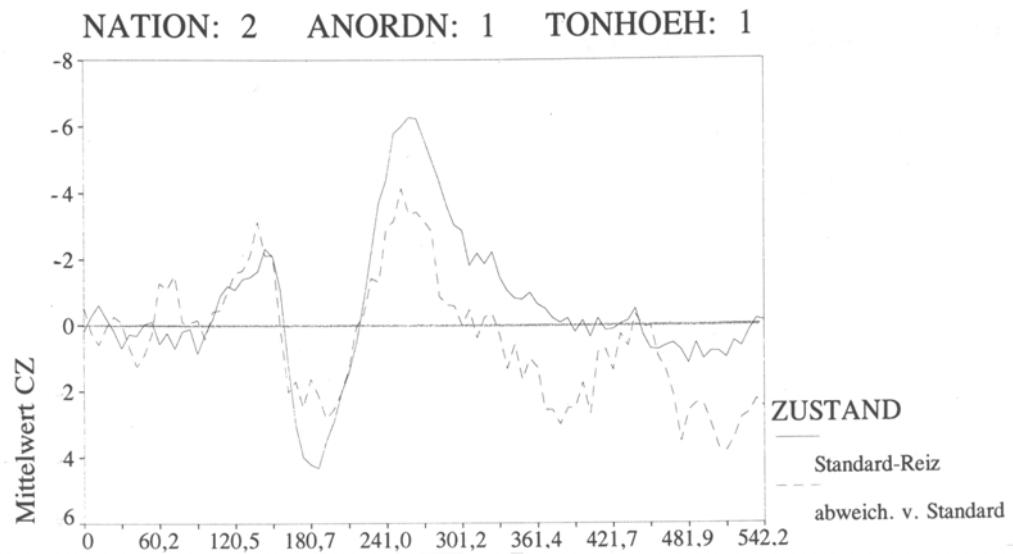


Abb.49. Grand average ERPs der türkischen Probandengruppe (n = 5 Vpn). Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 1 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 1 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz. Obwohl das Diagramm den gesamten Latenzbereich (0 msec - 540 msec) darstellt, wird nur der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec) analysiert. Die horizontale Achse gibt den Zeitverlauf in msec an, die vertikale Achse zeigt den Amplitudenmittelwert in Mikrovolt auf (Negativität ist nach oben abgetragen).

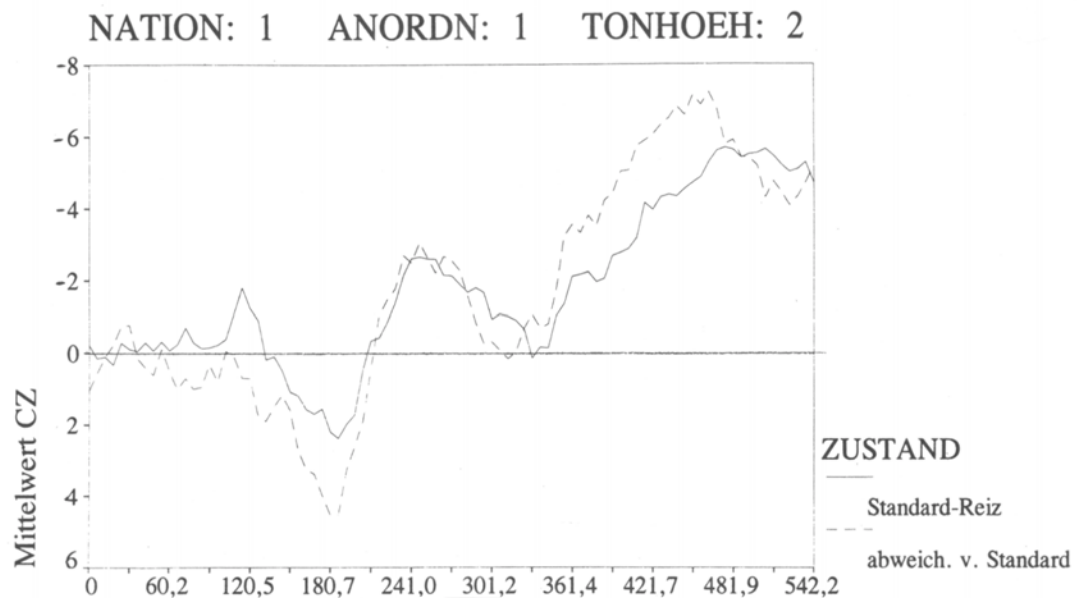


Abb.50. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe (n = 5 Vpn). Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 2 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 2 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz. Obwohl das Diagramm den gesamten Latenzbereich (0 msec - 540 msec) darstellt, wird nur der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec) analysiert.

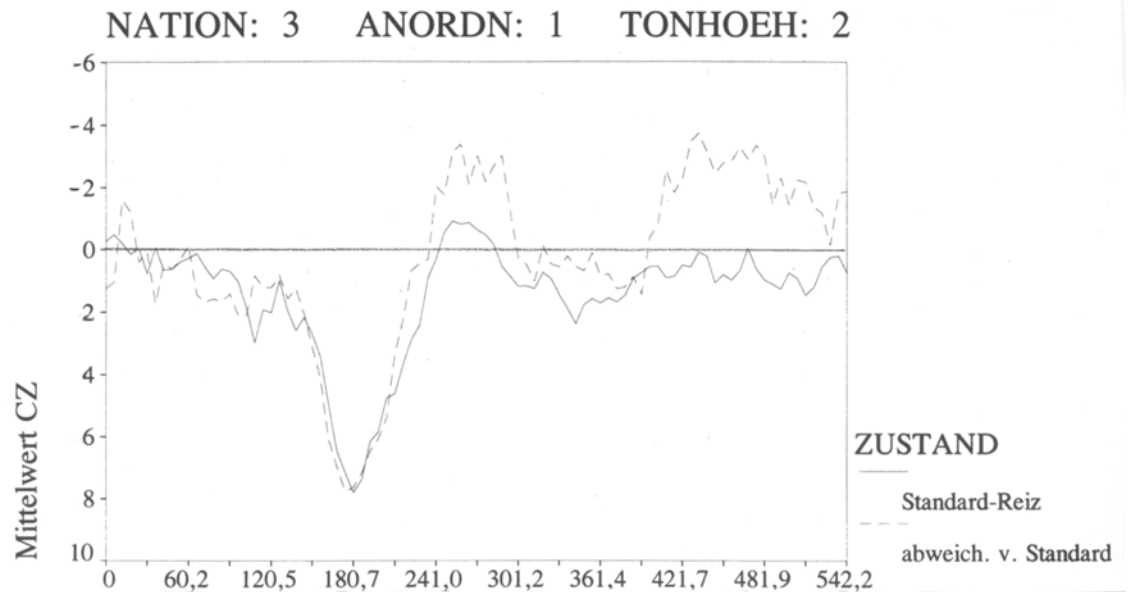


Abb.51. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe (n = 5 Vpn). Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 2 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 2 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz. Ausgewerteter Bereich: Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

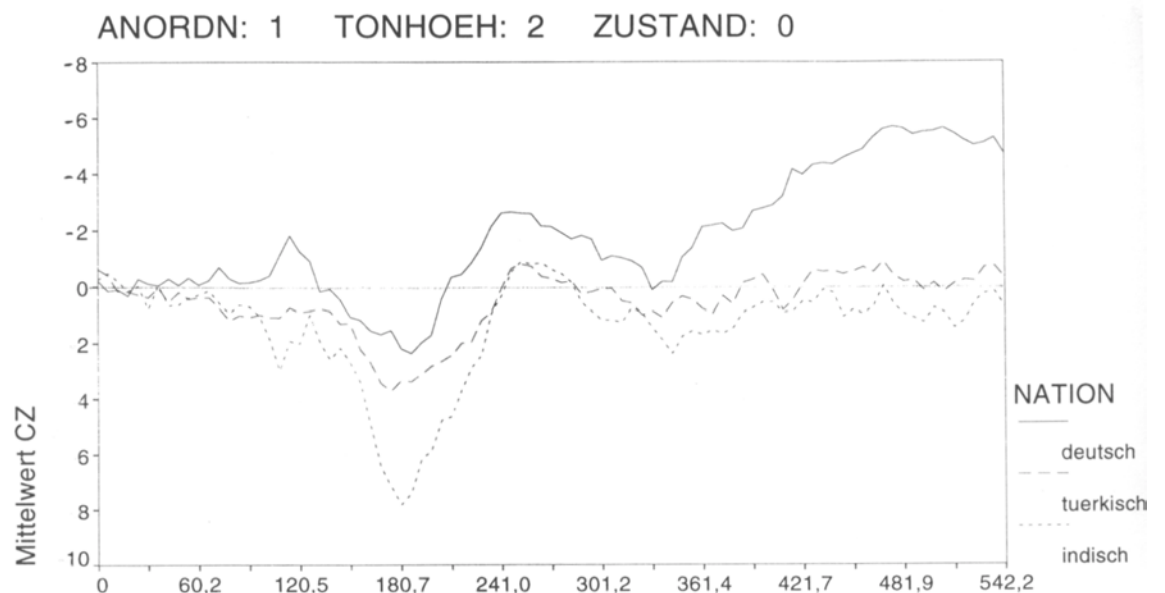


Abb.52. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 2 der Dur-Standard-Skala für alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung vom Meßpunkt Cz; analysiert wird der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec). Die Abszisse gibt den Zeitverlauf in msec an, die Ordinatenachse zeigt den Amplitudenmittelwert in Mikrovolt auf. (Negativität ist nach oben abgetragen.)

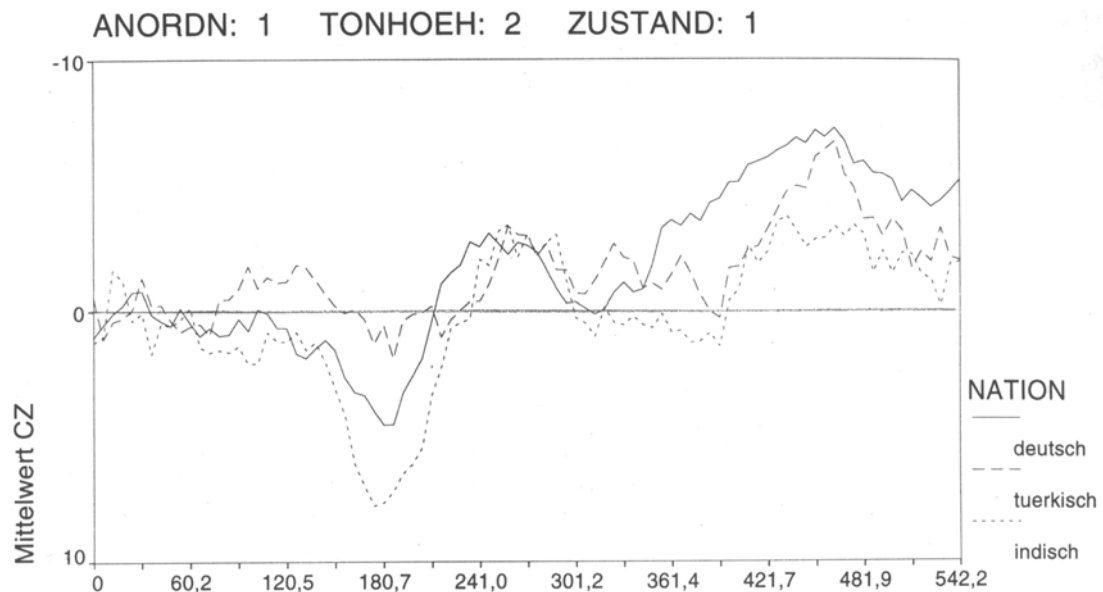


Abb.53. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 2 der Thai-Deviant-Skala; alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung vom Meßpunkt Cz; analysiert wird der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

Ton 3

Der dritte Ton der devianten Thai-Skala hat bei sämtlichen Versuchsteilnehmern a) einen kleinen positiven peak im Latenzbereich 1 und b) eine Negativierung mit großen Amplitudenwerten im zweiten Latenzfenster zur Folge. Die **P3-Komponente** ist bei deutschen Probanden an Cz zu finden (Abb. 54), bei türkischen Vpn an Fz und Pz (an Pz mit einer Überlagerung von α -Aktivität) und bei indischen Vpn an Fz, Cz und Pz (Pz: ebenfalls mit Superposition des α - Rhythmus). Die **Negativ-Verschiebung** ist für Deutsche, Türken und Inder an allen drei Elektrodenpositionen vorhanden. Sie grenzt sich deutlich vom Spannungsverlauf der zugehörigen Dur-Summenkurven ab. Die signifikanten Ergebnisse des t-Tests lauten: a) für die P3-Komponente: Fz: $t(14) = -3,89$ $p < 0,01$, Cz: $t(14) = -3,16$ $p < 0,01$ sowie Pz: $t(14) = -3,15$ $p < 0,01$ und b) für die Negativierung: Fz: $t(14) = 3,49$ $p < 0,01$, Cz: $t(14) = 3,26$ $p < 0,01$ und Pz: $t(14) = 2,92$ $p < 0,05$. Weitere Einzelheiten zum ‚negative shift‘ als Reaktion auf Thai-Ton 3 lassen sich aus den ‚Kultur grand averages‘ ablesen: Für deutsche Versuchsteilnehmer sind - im Vergleich zu türkischen und indischen Probanden - an Fz, Cz und

Pz Negativierungen mit den größten lokalen Maxima vorhanden. Dieser Unterschied ist der Kurvendurchsicht zu entnehmen, wird aber durch kein signifikantes F-Test-Ergebnis bestätigt.

Tabelle 8. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 3: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,98 (2,09)	2,23 (1,95)	-1,25	1,17 (2,09)	4,22 (1,72)	-3,05	1,07 (1,64)	3,88 (2,74)	-2,81
Türk. Vpn	1,36 (2,99)	3,01 (3,61)	-1,65	1,69 (3,07)	3,38 (4,28)	-1,69	1,61 (2,84)	4,18 (4,95)	-2,57
Ind. Vpn	1,23 (1,49)	4,23 (2,2)	-3	3,03 (2,82)	5,74 (2,44)	-2,71	2,24 (1,61)	6,73 (4,13)	-4,49

Tabelle 9. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 3: Latenzfenster 2, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block 1	Fz			Cz			Pz		
Ton3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,8 (2,17)	-9,13 (6,52)	5,33	-3,69 (3,73)	-9,34 (6,68)	5,65	-3,51 (3,08)	-11,09 (6,79)	7,58
Türk. Vpn	-2,19 (2,77)	-6,05 (2,15)	3,86	-2,39 (3,11)	-5,52 (2,91)	3,13	-3,12 (3,08)	-5,51 (3,62)	2,39
Ind. Vpn	-3,04 (0,96)	-4,8 (2,55)	1,76	-2,9 (1,01)	-6,12 (2,27)	3,22	-3,13 (1,97)	-6,83 (4,77)	3,7

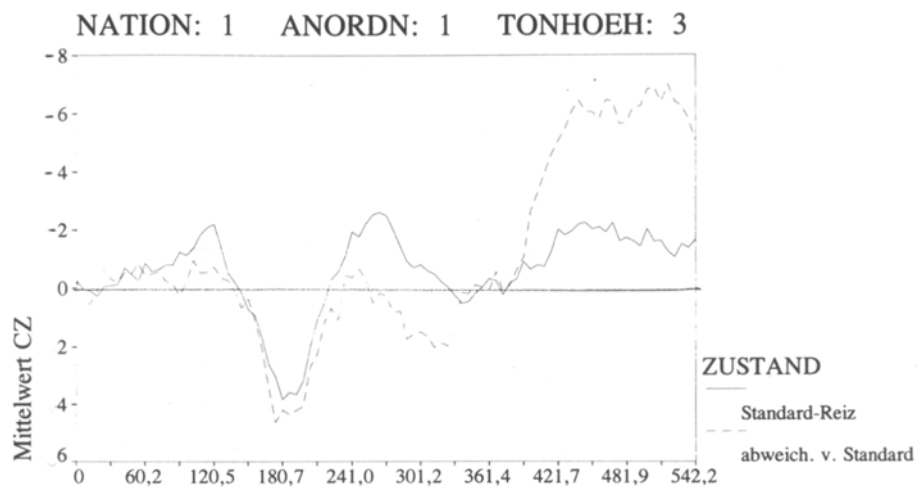


Abb.54. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe (n = 5 Vpn). Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 3 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 3 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz

Ton 4

Deutsche Versuchspersonen haben bei Ton 4 Potentialverläufe, die ein genau umgekehrtes Muster im Vergleich zu denjenigen der türkischen und indischen Probanden zeigen: Deutsche Musiker prägen beim Hören des devianten *Thai*-Tons im ersten Latenzfenster eine ‚long lasting positivity‘ an Fz und Cz aus (vgl. Abb. 55): Türkische und indische Vpn reagieren statt dessen auf den Standard-*Dur*-Ton und bilden eine ‚long lasting positivity‘ (Türken) bzw. eine kleine **P 300-Komponente** (Inder, Abb.56) mit Amplitudenmaxima an Fz und Cz aus. Weil der t-Test für abhängige Stichproben von seiner Konzeption her Amplitudenmittelwerte von Standard- und Deviant-Kurven miteinander vergleicht, ohne ein u.U. verschiedenes Gruppenverhalten gesondert zu spezifizieren (Stichprobengröße $n = 15$ Vpn), wird das Ergebnis der Kurvendurchsicht für Ton 4 durch kein signifikantes Resultat des t-Tests gestützt. Der Grund ist in den oben dargestellten, sich zueinander konträr verhaltenden ERP-Reaktionen von deutschen und türkischen / bzw. indischen Vpn zu suchen. Die Auswertung der ‚Kultur grand averages‘ bestätigt die ‚long lasting positivity‘ an Fz und Cz, mit der deutsche Musiker auf den vierten devianten *Thai*-Ton reagieren. Der Abstand zwischen den lokalen Tiefpunkten in den *Thai*-Spannungsverläufen von deutschen und türkischen / bzw. indischen Probanden ist an Position Fz signifikant ($\alpha = 5\%$ -Niveau; Ergebnis des omnibus F-Tests: Fz: $F(2/12) = 5,46$ $p < 0,05$). Die Berechnung des eta²-Koeffizienten¹ für den vierten devianten *Thai*-Ton zeigt, daß sich 47,6% der Gesamt-Varianz an Fz auf den Gruppierungs-Faktor ‚Kultur‘ zurückführen lassen.

Tabelle 10. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 4: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,94 (0,66)	7,73 (3,58)	-4,79	3,55 (1,61)	8,02 (3,06)	-4,47			
Türk. Vpn	4,85 (2,15)	4,15 (2,23)	0,7	4,78 (2,35)	4,46 (1,28)	0,32			
Ind. Vpn	2,53 (1,31)	1,21 (3,4)	1,32	2,45 (1,92)	2,38 (4,99)	0,07			

¹ vgl. S..156.

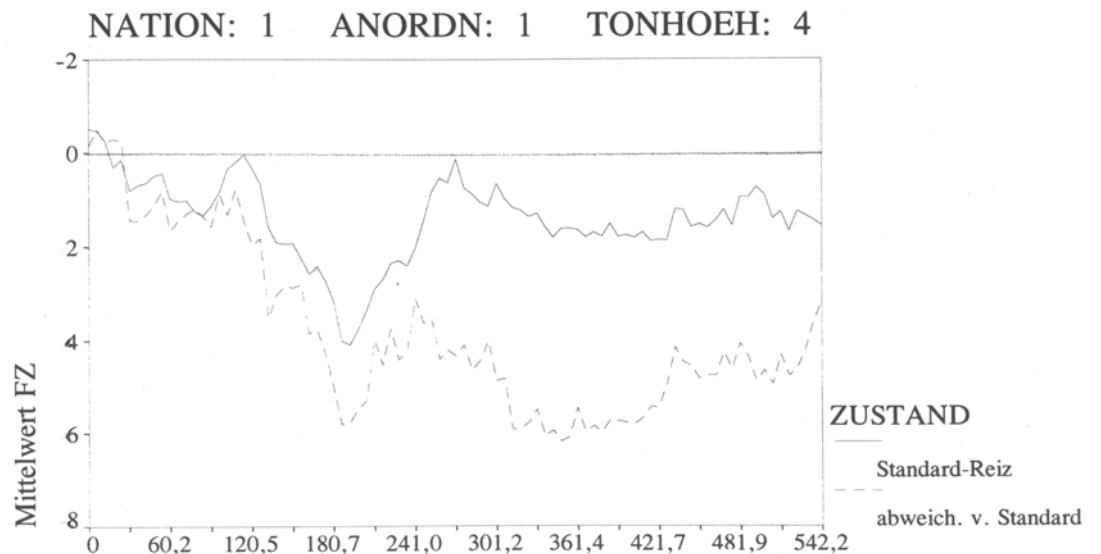


Abb.55. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 4 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 4 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz. Obwohl das Diagramm den gesamten Latenzbereich (0 msec - 540 msec) darstellt, wird nur der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec) analysiert.

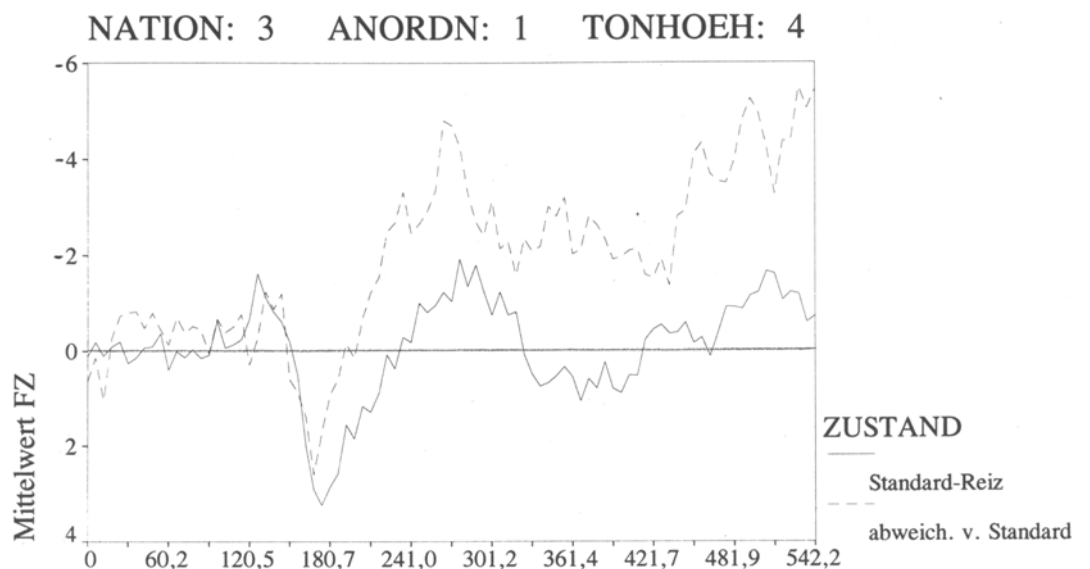


Abb.56. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 4 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 4 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz. Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Ton 5:

Deutsche Versuchsteilnehmer bilden im Latenzbereich 1 eine ‚**long lasting positivity**‘ als Antwort auf den fünften Ton der Thai-Skala aus. Die zugehörige Dur-Summenkurve hat in diesem Zeitabschnitt einen erheblich geringeren Amplitudenwert. Dieser ‚positive shift‘ ist für Fz, nicht aber für Cz und Pz aus den Stan/Dev-Summenkurven ersichtlich, wird jedoch durch kein signifikantes Ergebnis des t-Tests bzw. F-Tests (mit Scheffé) bestätigt. Die Spannungsverläufe der türkischen und indischen Vpn weisen kein entsprechendes Kurvenverhalten auf (Türken haben an allen drei Elektrodenpositionen Zufallsaktivität).

Tabelle 11. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 5: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt.	1,92	6,14	-4,22	2,15	4,04	-1,89	1,62	2,72	-1,1
Vpn	(2,44)	(3,08)		(2,72)	(2,6)		(2,81)	(2,82)	
Türk. Vpn									
Ind. Vpn	2,47	2,53	-0,06	3,29	3,22	0,07			
	(2,59)	(3,71)		(1,69)	(2,87)				

Ton 6:

Indische Musiker prägen im Unterschied zu deutschen und türkischen Probanden bei der Wahrnehmung des sechsten Thai-Tons eine **P 300-Komponente** an Elektrodenposition Fz aus. Das Dur-Potential schwankt in diesem Zeitintervall um die Nulllinie. Das visuelle Ergebnis läßt sich anhand des t-Tests für abhängige Stichproben verifizieren ($t(14) = -2,36$ $p < 0,05$). Mit Blick auf eine **Negativierung** gibt es nur bei deutschen Versuchsteilnehmern eine entsprechende Verschiebung im zweiten Latenzfenster: an Fz sind gleich große Kurven-Gipfel als Reaktionen auf den Thai-Deviant- und den Dur-Standard-Ton zu beobachten. Diese Relation verschiebt sich dann an Cz zugunsten des *Thai*-Deviants. Ein signifikantes t-Test-Ergebnis lautet hierzu: Cz: $t(14) = 2,66$ $p < 0,05$.

Tabelle 12. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 6: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt.	0,39	2,41	-2,02	0,7	0,84	-0,14			
Vpn	(3,11)	(0,68)		(2,59)	(2,93)				
Türk. Vpn	2,86	3,39	-0,53	2,02	2,71	-0,69	1,37	3,35	-1,98
	(2,0)	(2,47)		(1,74)	(1,06)		(1,16)	(4,11)	
Ind. Vpn	2,07	4,59	-2,52	2,16	4,44	-2,28			
	(2,92)	(2,53)		(3,26)	(3,5)				

Tabelle 13. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 6: Latenzfenster 2, Fz, Cz, Pz , drei Kulturen.

Block 1	Fz			Cz			Pz		
Ton6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt.	-4,39	-4,44	0,05	-3,42	-6,71	3,29			
Vpn	(2,78)	(3,87)		(1,98)	(3,38)				
Türk. Vpn	-0,47	-2,03	1,56	-1,06	-2,3	1,24	-2,78	-2,54	-0,24
	(2,12)	(1,93)		(1,58)	(1,6)		(1,29)	(1,03)	
Ind. Vpn	-2,41	-2,13	-0,28	-3,36	-4,45	1,09			
	(2,3)	(4,09)		(2,25)	(3,99)				

Ton 7:

Deutsche Versuchsteilnehmer reagieren auf die Präsentation des devianten siebten Thai-Tons mit einer deutlichen **P3-Komponente** an allen drei Elektrodenpositionen (Latenzfenster 1, Spannungswerte: 7,12 μV (Fz), 6,21 μV (Cz), 4,76 μV (Pz), vgl. Tab. 14 und Abb.57). Das dazugehörige Dur-Potential kreist an Fz, Cz und Pz um die Nulllinie. Auch bei indischen Probanden ist eine P300 mit etwas geringeren Amplitudenwerten zu beobachten (Elektrode Cz (6,04 μV) und Pz (6,1 μV , hier mit einer Überlagerung von α -Aktivität)). Die Befunde des t-Tests ($n = 15$ Vpn) sind für die Positionen Cz und Pz signifikant; die Ergebnisse lauten: Cz: $t(14) = -2,35$ $p < 0,05$ Pz: $t(14) = -2,73$ $p < 0,05$. Der P300-peak als ERP-Reaktion auf Thai-Ton 7 zeichnet sich auch im Kurvenbild der ‚Kultur grand averages‘ ab (Abb. 59): Deutsche Musiker haben dabei die größten Amplitudenwerte (Elektrodenpositionen Fz und Cz) ohne daß

sich dieses Amplituden-Verhalten anhand eines F-Tests belegen ließe. Für sämtliche Versuchsteilnehmer geht die Wahrnehmung des devianten Thai-Tons außerdem mit der Ausprägung eines **negative shifts** einher: Deutsche Vpn zeigen an Cz und Pz, indische Vpn an Fz, Cz und Pz und türkische Vpn an Fz und Cz eine negative Verschiebung (Zufallsaktivität an Pz). Der t-Test gibt hierfür signifikante Stan-/Dev-Differenzen an den Elektrodenpositionen Cz und Pz an. Die Ergebnisse lauten: Cz: $t(14) = 3,37$ $p < 0,01$ und Pz: $t(14) = 2,33$ $p < 0,05$.

Tabelle 14. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 7: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1 Ton 7	Fz			Cz			Pz		
	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,83 (1,85)	7,12 (4,92)	-5,29	1,51 (1,14)	6,21 (6,8)	-4,7	1,35 (1,12)	4,76 (5,61)	-3,41
Türk. Vpn	3,5 (2,93)	3,77 (2,97)	-0,27	2,99 (2,74)	4,27 (3,09)	-1,28			
Ind. Vpn	2,06 (2,75)	3,51 (4,13)	-1,45	3,32 (2,22)	6,04 (3,57)	-2,72	3,01 (3,74)	6,1 (1,22)	-3,09

Tabelle 15. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1 Ton 7: Latenzfenster 2, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block 1 Ton7	Fz			Cz			Pz		
	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,23 (2,85)	-2,3 (2,97)	1,07	-1,15 (2,42)	-3,79 (3,35)	2,64	-1,74 (2,68)	-6,2 (2,95)	4,46
Türk. Vpn	-0,02 (2,7)	-2,91 (1,93)	2,89	-0,99 (2,65)	-4,09 (2,61)	3,1			
Ind. Vpn	-2,26 (6,35)	-6,75 (5,15)	4,49	-0,92 (2,92)	-5,93 (3,31)	5,01	-2,87 (5,01)	-4,61 (3,21)	1,74

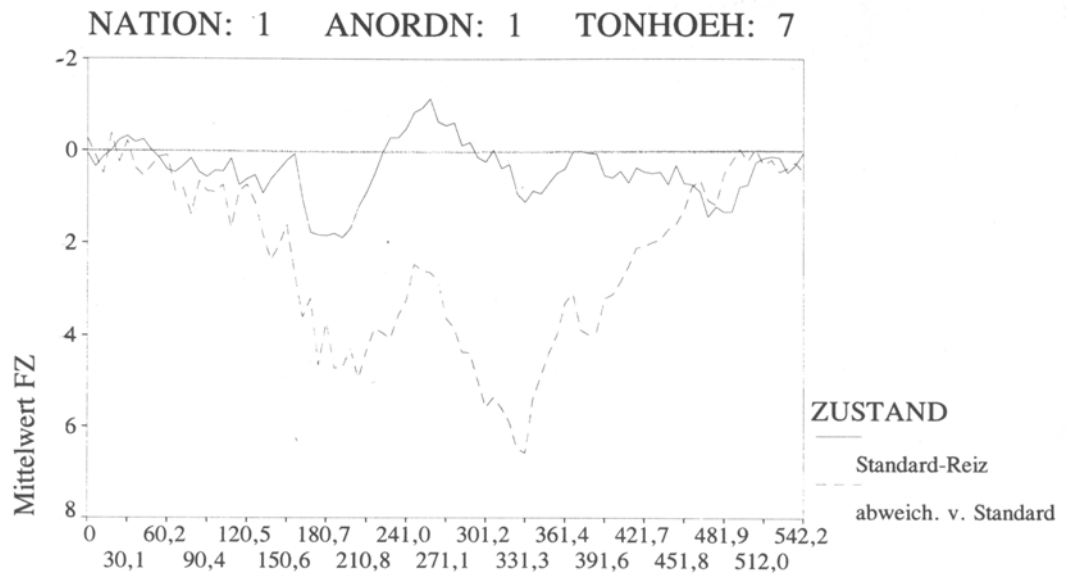


Abb.57. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 7 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 7 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz.

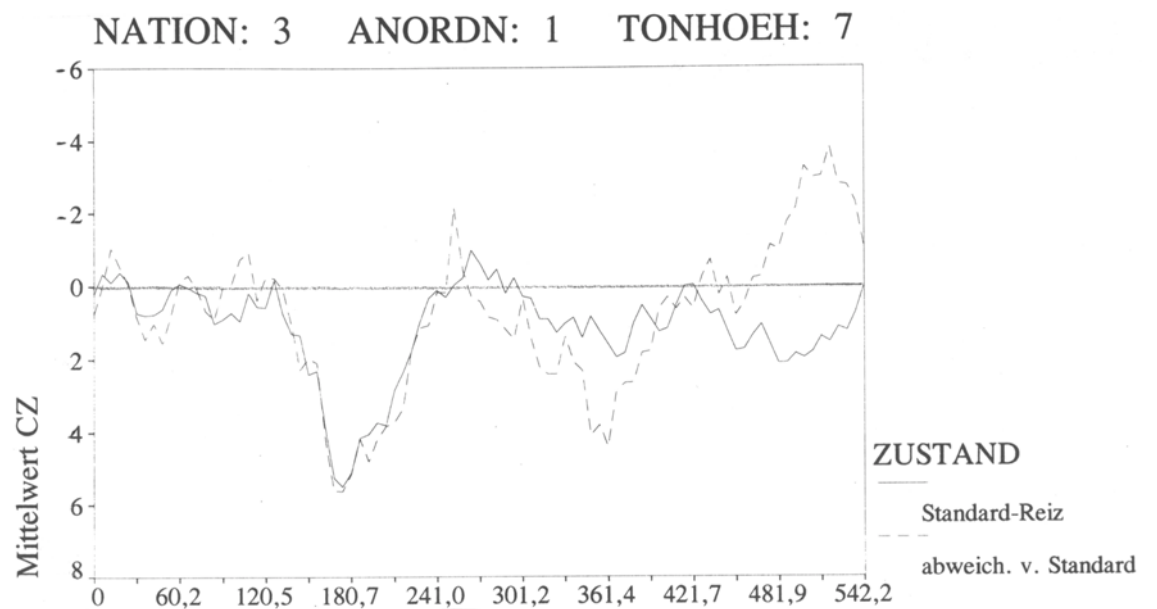


Abb.58. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 7 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 7 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz.

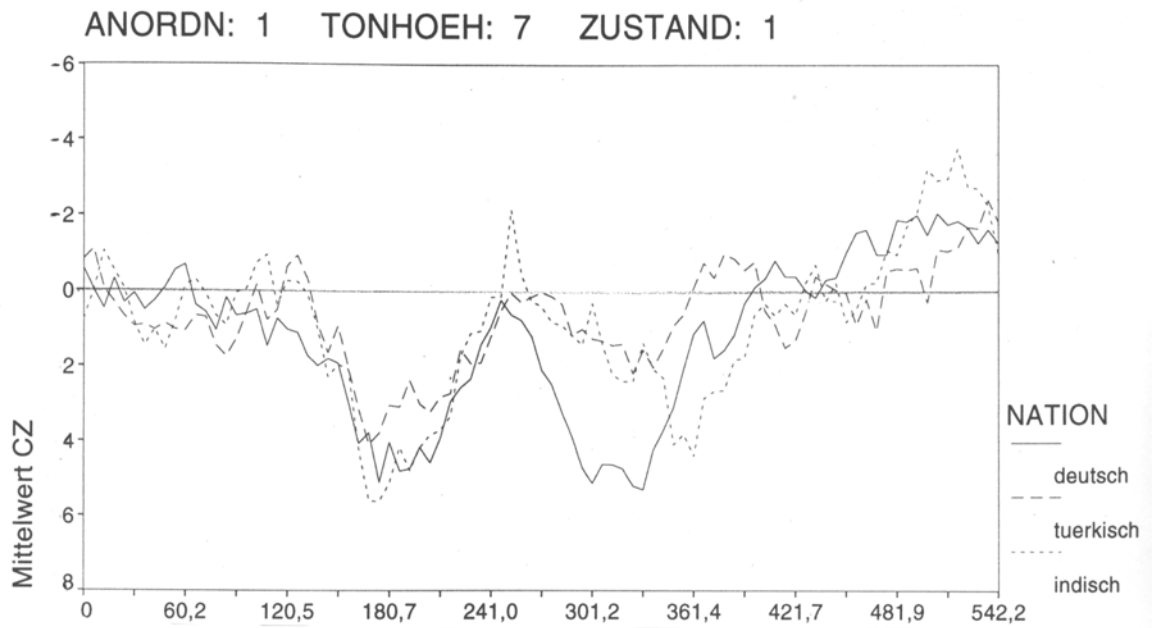


Abb.59. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 7 der Thai-Deviant-Skala für alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung vom Meßpunkt Cz.

Ton 8:

Deutsche Musiker antworten auf die Präsentation des devianten achten Thai-Tons mit einer ‚long lasting positivity‘ an allen Elektrodenpositionen (Abb. 60). Ihr lokales (positives) Maximum hebt sich deutlich von demjenigen des zugehörigen Dur-Potentials ab. Türkische Probanden bilden einen **P3-peak** als Variante an Fz und Cz aus (Abb. 61).

Indische Versuchsteilnehmer zeigen keine eindeutige Komponenten-Reaktion.

Der t-Test bringt dazu folgende signifikante Ergebnisse: Fz: $t(14) = -2,86$ $p < 0,05$, Cz: $t(14) = -3,38$ $p < 0,01$ und Pz: $t(14) = -3,7$ $p < 0,01$.¹

¹ Mit Bezug auf Ton 8 ist auch die *Latenzdifferenz* von 37,35 msec - zwischen dem tiefsten (= positivsten) Punkt des Dur- und demjenigen des Thai-Potentials - im ersten Latenzbereich an Pz signifikant (t-Wert: Pz: $t(14) = 3,39$ $p < 0,01$ (n = 15 Vpn)). Wie sich der Kurven-Durchsicht entnehmen läßt, ist der Stan-/Dev-Latenz-Unterschied im Spannungsverlauf der *deutschen* Musiker hierfür die Ursache. Weitere signifikante Stan-/Dev-Latenzdifferenzen bezogen auf eine P3-Ausprägung finden sich a) für türkische Vpn in Block 3 (Ton 6 (Cz) und Ton 7 (Cz)) sowie b) für indische Probanden in Block 2 (Ton 4 (Fz und Cz)). Da die ‚Verschiebung‘ der Latenzzeit zwischen dem positivsten Wert des Standard- und demjenigen des Deviant-Potentials nur in diesen vier Fällen zu einem signifikanten Resultat führt, und diese Latenzangaben zueinander in keinem Zusammenhang stehen, werden im weiteren Verlauf der Arbeit weder Ergebnisse zur Latenz der P300-Komponente noch Ergebnisse zur Latenz der Negativierung aus ein- bzw. vierfaktoriellen Varianzanalysen angegeben.

Tabelle 16. Amplitudenmittelwerte (mit SD) Block 1, Ton 8: Latenzbereich 1, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen.

Block1	Fz			Cz			Pz		
Ton8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt.	1,92	8,23	-6,31	1,37	7,25	-5,88	0,68	6,3	-5,62
Vpn	(4,46)	(5,5)		(2,61)	(4,56)		(2,71)	(4,99)	
Türk. Vpn	3,21	6,76	-3,55	3,09	6,42	-3,33			
	(1,68)	(1,21)		(1,6)	(2,15)				
Ind. Vpn							1,44	3,91	-2,47
							(4,09)	(5,54)	

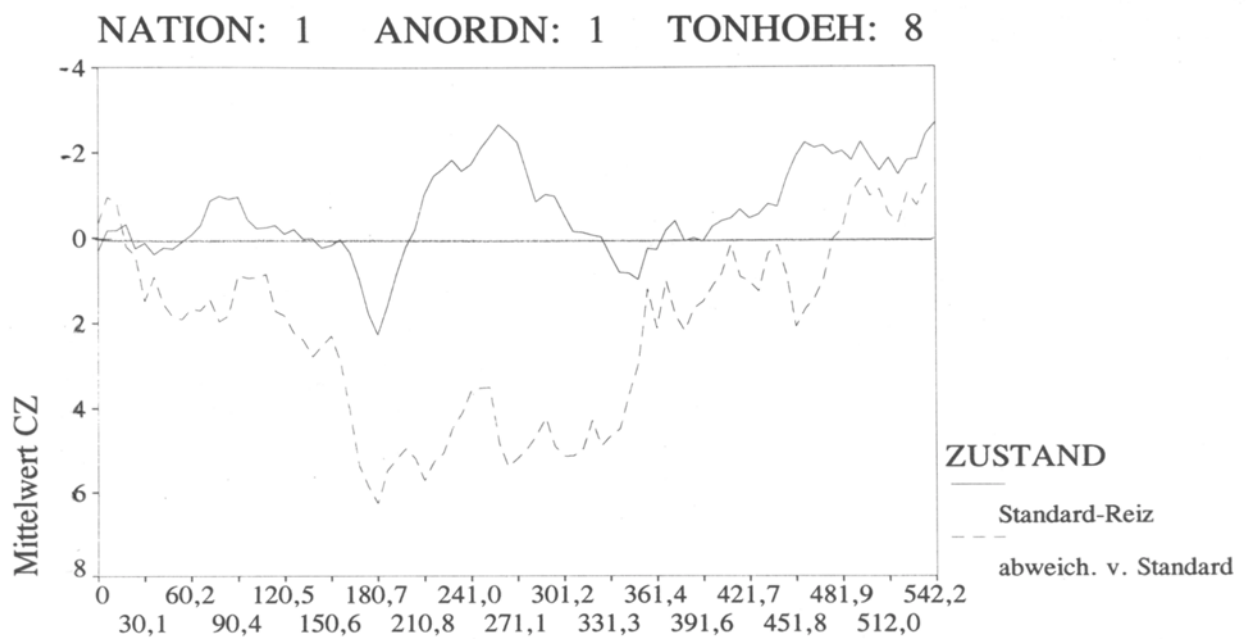


Abb.60. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 8 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 8 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz. Obwohl das Diagramm den gesamten Latenzbereich (0 msec - 540 msec) darstellt, wird nur der Kurvenverlauf im Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec) analysiert.

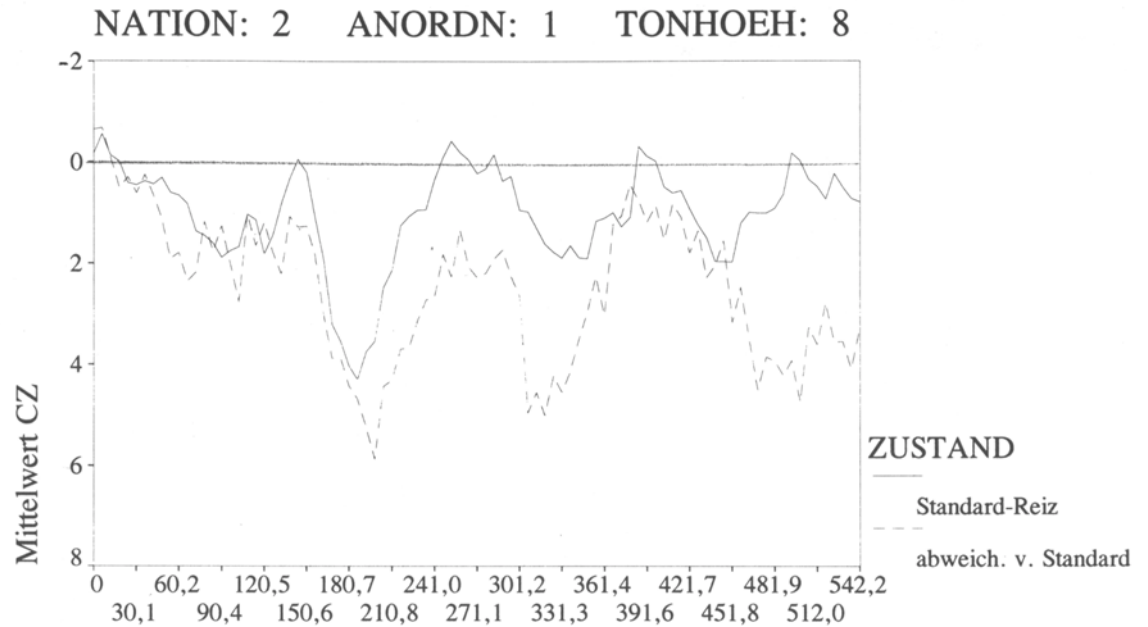


Abb.61. Grand average ERPs der türkischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 8 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 8 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; ausgewerteter Bereich: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Mit diesen Ergebnissen, die für die acht Standard- bzw. Deviant-Töne des ersten Skalenblocks anhand des t-Tests für abhängige Stichproben und der einfaktoriellen Varianzanalyse ermittelt worden sind, stimmen auch die Global-Befunde der vierfaktoriellen Varianzanalyse überein. Sie hatte Kontrollfunktion, wurde in SPSS mit dem Modul MANOVA durchgeführt und auf den omnibus F-Test begrenzt (unabhängige Variablen: ‚Kultur‘, ‚Modus‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Elektrodenposition‘). Es stellte sich nach Korrektur mit dem ϵ -Faktor von Greenhouse und Geisser heraus, daß folgende Haupteffekte und Interaktionen einen signifikanten Einfluß auf die abhängige Variable ‚Amplitudenwert‘ hatten:

- a) (Latenzbereich 1): der Meßwiederholungsfaktor ‚Modus‘ (Standard vs. Deviant, konkret: Dur vs. Thai: $F(1/12)^1 = 44,83$ $p < 0,001$) sowie die Tripelinteraktion ‚Kultur by Modus by Elektrodenposition‘ ($F(4/24) = 3,77$ $p < 0,05$).
- b) (Latenzbereich 2): die Haupteffekte ‚Kultur‘, ‚Modus‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Elektrodenposition‘ (‚Kultur‘, Nation 1 bis 3: $F(2/12) = 5,33$ $p < 0,05$, ‚Modus‘, Dur-Stan vs. Thai-Dev: $F(1/12) = 14,09$ $p < 0,01$, ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 2,97$ $p < 0,05$ sowie ‚Elektrodenposition‘, Fz, Cz und Pz: $F(2/24) = 19,12$ $p < 0,001$). Ferner die Interaktionen 1. Ordnung ‚Kultur by Tonhöhe‘ ($F(14/84) = 2,27$ $p < 0,05$) und ‚Modus by Tonhöhe‘ ($F(7/84) = 2,63$ $p < 0,05$) sowie die Tripelinteraktion ‚Kultur by Modus by Elektrodenposition‘ ($F(4/24) = 4,0$ $p < 0,05$).

Zusammenfassung: Die wichtigsten Ergebnisse aus Block 1
(Skalen: Dur-Standard vs. Thai-Deviant)

1. Ton 2 der devianten Thai-Skala löst eine negative Potentialverschiebung mit großen Amplitudenwerten aus. Sie ist für alle drei Kulturgruppen an mindestens zwei Elektrodenpositionen zu finden. Ton 2 der *Dur*-Leiter hat nur für deutsche Musiker einen ‚negative shift‘ an Fz, Cz und an Pz zur Folge.
2. Auch für Thai-Ton 3 ist eine Negativierung mit großen Amplitudenmaxima im Kurvenbild zu finden und bei sämtlichen Vpn an Position Fz, Cz und Pz vorhanden. Wie den ‚Kultur grand averages‘ zu entnehmen ist, haben deutsche Versuchsteilnehmer hierbei die größten bioelektrischen Spannungswerte. Im Latenzbereich 1 ist außerdem eine kleine P3-Komponente als Reaktion auf Thai-Ton 3 zu beobachten (dt. Vpn an Cz, türk. Vpn an Fz und Pz und ind. Vpn an Fz, Cz und Pz).

¹ Freiheitsgrade sind aus Gründen der Anschaulichkeit als natürliche Zahlen dargestellt; de facto wurden sämtliche Ergebnisse des F-Tests jedoch auf Basis der *Greenhouse-Geisser-korrigierten* ‚degrees of freedom‘ (ausgedrückt mit zwei Nachkomma-Stellen) berechnet.

3. P3-Reaktionen auf Ton 4 sind für jede Probandengruppe unterschiedlich: Deutsche Musiker prägen an Fz und Cz eine ‚long lasting positivity‘ in bezug auf den *Thai*-Ton aus, Türken und Inder reagieren statt dessen auf den Standard-*Dur*-Ton (‚long lasting positivity‘ bzw. kleine P300 an Fz und Cz).
4. Für *Thai*-Ton 5 ist nur in den Summenkurven der deutschen Probanden eine ‚long lasting positivity‘ zu erkennen. Sie ist an Fz, nicht aber an Cz und Pz vorhanden.
5. Deutsche Versuchsteilnehmer bilden bei Präsentation des siebten *Thai*-Tons einen P300-peak an allen drei Elektrodenpositionen aus. Das Kurven-Verhalten ist auch aus den ‚Kultur grand averages‘ (Deviant-Modus) ersichtlich. Im Latenzbereich 2 gibt es für alle drei Kulturgruppen eine negative Potentialverschiebung.
6. Deutsche und türkische Probanden antworten auf den achten Ton der *Thai*-Skala mit einer ‚long lasting positivity‘ (an Fz, Cz und Pz) bzw. einer P300-Komponente (an Fz und Cz). Indische Versuchspersonen zeigen keine vergleichbaren elektrophysiologischen Reaktionen.

5.2.2.2. Block 2: Dur-Standard versus Moll-Deviant

Die Summenkurven in Block 2 zeigen für sämtliche *Dur*- und *Moll*-Töne im Latenzbereich von 95 msec bis 205 msec an Fz, Cz und Pz die Kombination aus N1-Gipfel und P2-Senke. Dieser **N1/P2-Komplex**, auch ‚onset response‘ genannt, ist Kennzeichen eines jeden ereigniskorrelierten Potentials - unabhängig davon, welche modalitätsspezifischen Reize in der Versuchssituation präsentiert wurden. Deutsche Versuchsteilnehmer bilden beim vierten devianten *Moll*-Ton eine früh einsetzende N1-Komponente aus, die 80msec nach Reizbeginn an Fz, Cz und Pz vorhanden ist. Türkische Probanden zeigen beim fünften Ton des *Dur*-Standards keine deutliche N1-Verschiebung an Pz. Habituationseffekte sind bei keiner Probandengruppe zu beobachten.

Ton 1:

Ton h⁴ (= 493,88 Hz) aus Block 1, der dort als Anfangston für die Dur- und Thai-Skala gewählt wurde, wird in Block 2 als Startton für die Dur- und Molltonleiter beibehalten. Anders als in Block 1 ist diesmal keine auffällige ERP-Komponente als Reaktion auf den ersten, in allen musikalischen Parametern übereinstimmenden Standard-(Dur)- bzw. den Deviant-(Moll)-Ton zu beobachten.

Ton 2:

Charakteristische Wellenformen für deutsche, türkische bzw. indische Versuchsteilnehmer sind weder in Latenzbereich 1 noch in Latenzbereich 2 vorhanden.

Ton 3:

Ton 3 der devianten *Moll*-Tonleiter löst - entgegen allen Erwartungen - in *keiner* Kulturgruppe eine P300-Komponente aus. Deutsche, Türken und Inder zeigen statt dessen eine **Negativierung** im zweiten Latenzbereich; sie hat an allen drei Elektrodenpositionen große Spannungswerte: Deutsche Musiker prägen hierbei die größten lokalen Amplitudenmaxima aus und haben Mittelwerte von -13,68 μV (an Fz), von -15,87 μV (an Cz, vgl. Abb. 62) und von -16,8 μV (an Pz). Indische Versuchsteilnehmer bilden Negativitäten mit geringeren Amplitudenwerten aus (- 5,86 μV (an Fz), - 8,24 μV (an Cz) und - 8,52 μV (an Pz), Abb. 63). Türkische Probanden haben an Cz ein lokales Maximum von - 6,05 μV und an Pz eines von - 8,66 μV . Ein Anstieg des Kurvenverlaufs im Latenzbereich 2 ist *auch* als Reaktion auf den dritten *Dur*-Ton zu beobachten und bei Deutschen, Türken und Indern an allen oben genannten Elektrodenpositionen vorhanden. Wiederum sind es die deutschen Probanden, die an Fz, Cz und Pz ‚negative shifts‘ mit den größten Spannungswerten haben (- 8,72 μV (Fz), - 8,75 μV (Cz) sowie - 9,15 μV (Pz)). Der unterschiedliche Kurvenanstieg von Deutschen, Türken und Indern im Latenzbereich 2 - mit Blick auf den dritten *Dur*-Ton und in bezug auf den dritten *Moll*-Ton - ist auch den ‚Kultur grand averages‘ zu entnehmen (vgl. Abb. 64 und 65).

Der t-Test für abhängige Stichproben und der F-Test (mit Scheffé) zeigen signifikante Resultate in Hinblick auf den Amplitudenabstand zwischen der Dur- und der Moll-Negativierung:

a) Ergebnis des t-Tests: Pz: $t(14) = 2,99$ $p < 0,01$ b) Ergebnisse des F-Tests: Fz: $F(2/12) = 5,11$ $p < 0,05$ Cz: $F(2/12) = 5,09$ $p < 0,05$ Pz: $F(2/12) = 4,71$ $p < 0,05$. Der Scheffé-Test führt das (allgemeine) Resultat des ‚omnibus F-Tests‘ an Fz und Cz auf signifikante Amplituden-Differenzen zwischen den ‚negative shifts‘ von deutschen und türkischen Probanden zurück (Signifikanz-Niveau: $\alpha = 0,05$).

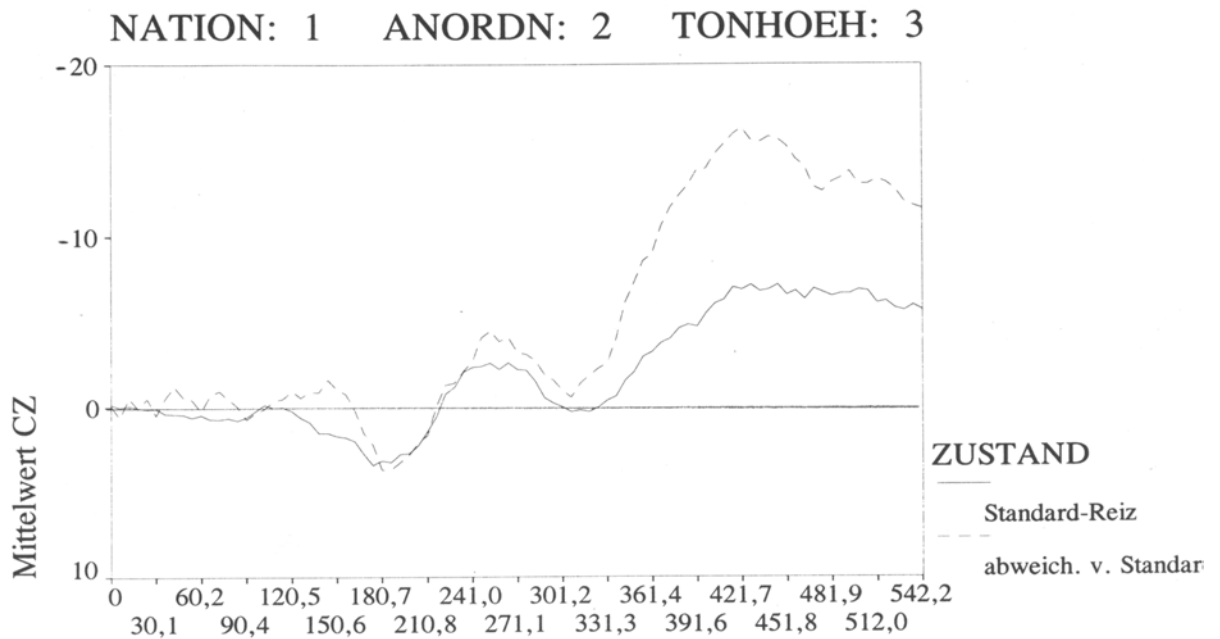


Abb.62. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 3 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 3 der Moll-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz.

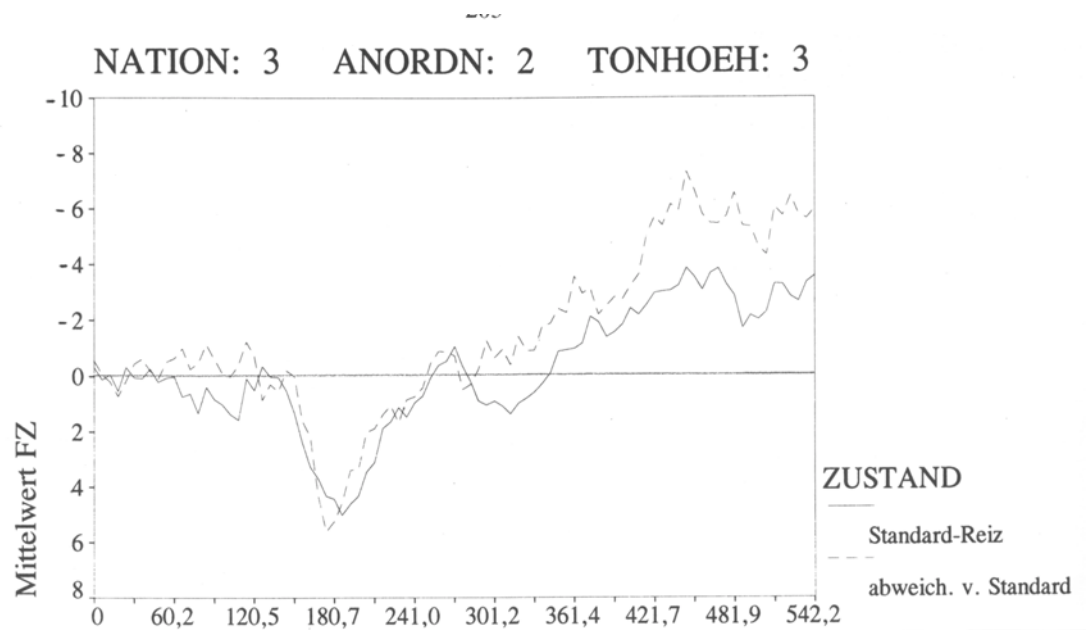


Abb.63. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 3 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 3 der Moll-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz.

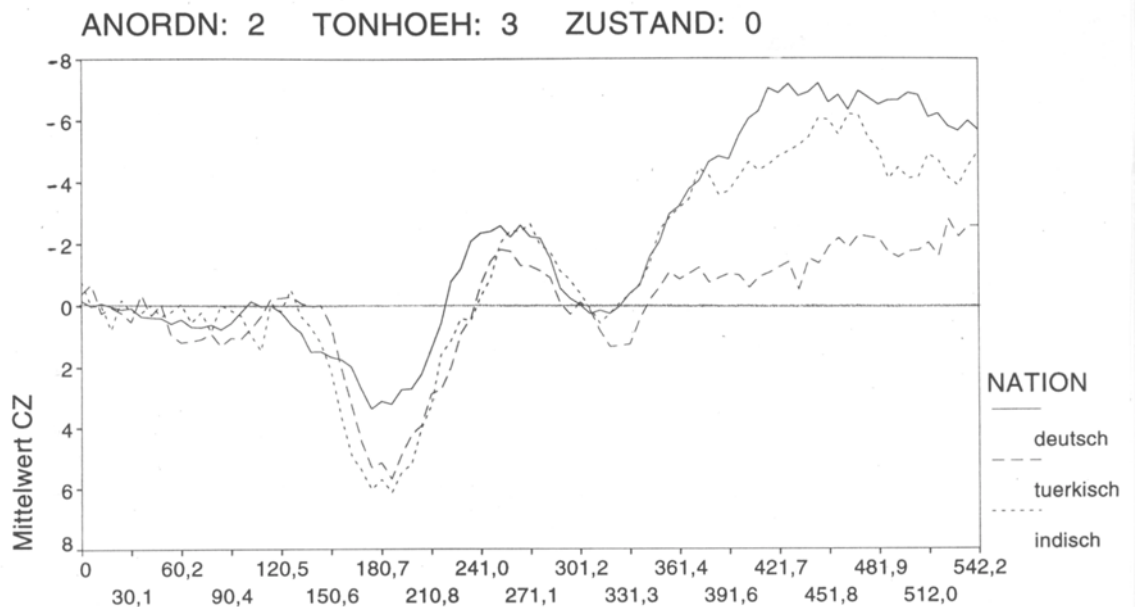


Abb.64. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 3 der Dur-Standard-Skala, alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung vom Meßpunkt Cz.

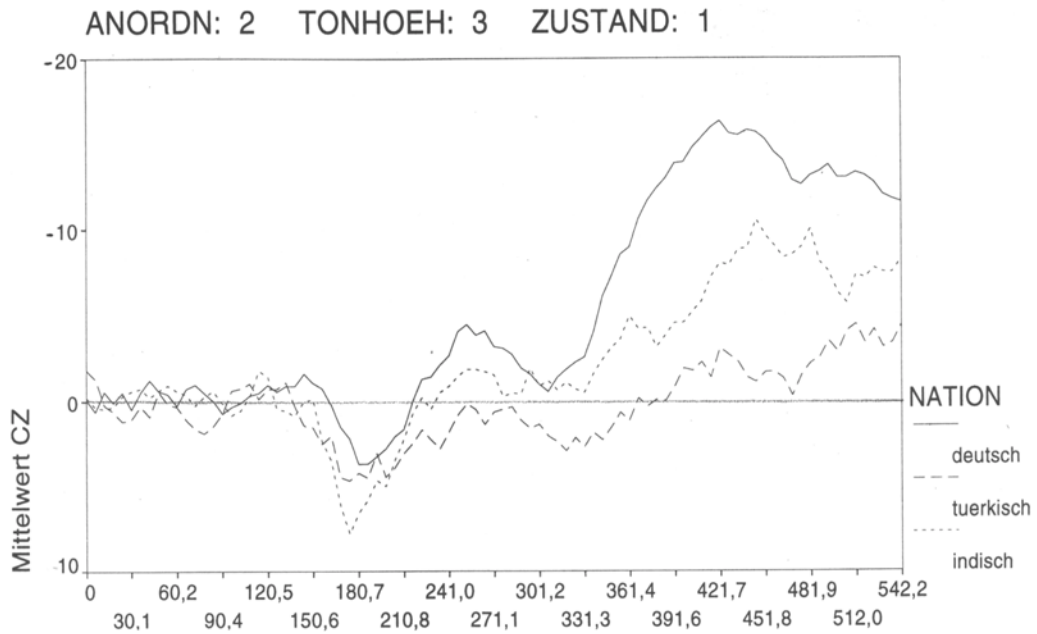


Abb.65. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 3 der Moll-Deviant-Skala, alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung vom Meßpunkt Cz (beachte den Maßstab).

Ton 4:

Indische Versuchsteilnehmer reagieren mit einer **P300-Komponente** auf den vierten Ton der Moll-Tonleiter (Abb.66). Deutsche und türkische Probanden zeigen kein entsprechendes Kurvenverhalten. Die P300 ist an allen drei Elektrodenpositionen vorhanden und vom lokalen Tiefpunkt des Dur-Potentials jeweils deutlich zu unterscheiden. Sie hat die Amplitudenwerte: 4,81 μV (Fz) sowie 6,25 μV (Cz) und 5,6 μV (Pz). Das Ergebnis der visuellen Inspektion läßt sich statistisch nicht belegen.

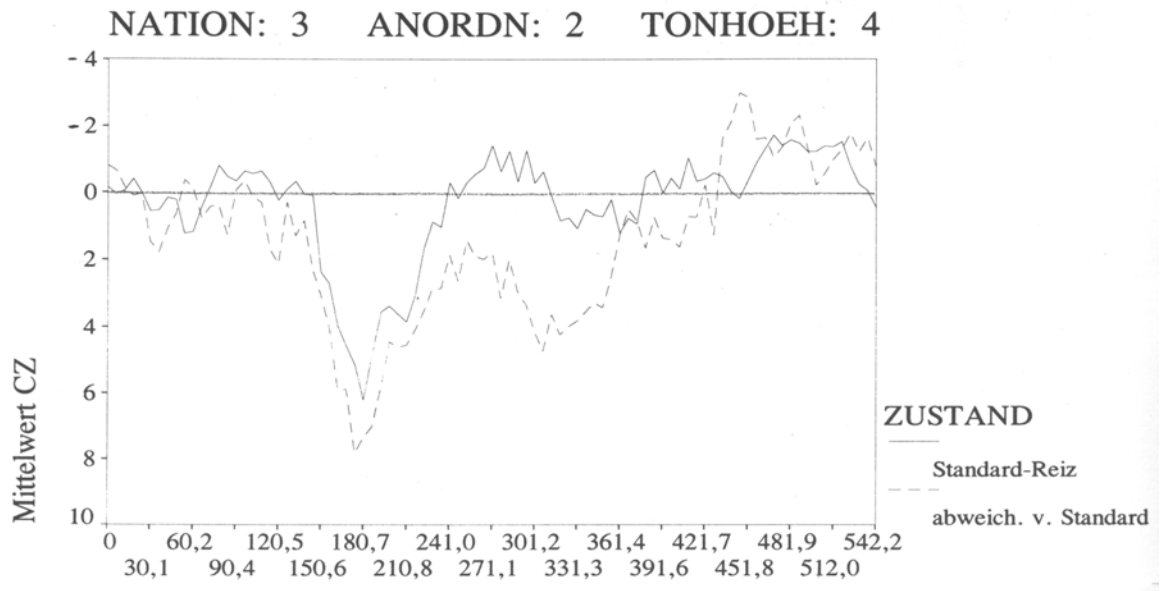


Abb.66. Grand average ERPs der indischen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 4 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 4 der Moll-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; ausgewerteter Bereich: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Ton 5:

Die ERP-Kurven einer jeden Kulturgruppe zeigen weder für den fünften Dur-Ton noch für den fünften Moll-Ton eine P3-Komponente bzw. Negativierung im entsprechenden Latenzfenster. Zufallsaktivität ist für deutsche Probanden an Cz und Pz und für indische Musiker an Pz vorhanden.

Ton 6:

Moll-Ton 6 löst eine Negativierung im zweiten Latenzbereich aus: Der **negative shift** ist für türkische Musiker an Cz (Amplitudenwert: - 5,13 μV) und Pz (- 7,84 μV) und für indische Versuchsteilnehmer an Fz (- 4,8 μV) und Cz (- 6,17 μV) zu finden. Das Dur-Potential schwankt in diesem Zeitabschnitt um die Nulllinie. Der t-Test für abhängige Stichproben liefert dazu folgendes signifikantes Ergebnis: Cz: $t(14) = 2,79$ $p < 0,05$ und Pz: $t(14) = 3,9$ $p < 0,01$.

Ton 7:

Im Kurvenbild für Ton 7 sind keine auffälligen Amplitudendifferenzen zwischen dem Standard-Potential als Reaktion auf den Dur- und dem Deviant-Potential als Reaktion auf den Moll-Ton zu beobachten. Jede Probandengruppe hat an Pz Zufallsaktivität; für indische Musiker ist sie zusätzlich an Position Cz vorhanden.

Ton 8:

Indische Versuchsteilnehmer bilden bei der Wahrnehmung des devianten achten Moll-Tons eine **Negativierung** mit großen Amplitudenwerten aus (Abb.67). Der Sachverhalt ist im zweiten Latenzfenster an Fz und Cz zu beobachten und geht an Cz mit einem signifikanten t-Test-Ergebnis einher: Cz: $t(14) = 2,89$ $p < 0,05$. Das zugehörige Dur-Potential kreist in diesem Latenzbereich um die Nulllinie. (Deutsche Probanden haben Zufallsaktivität an allen drei Elektrodenpositionen).

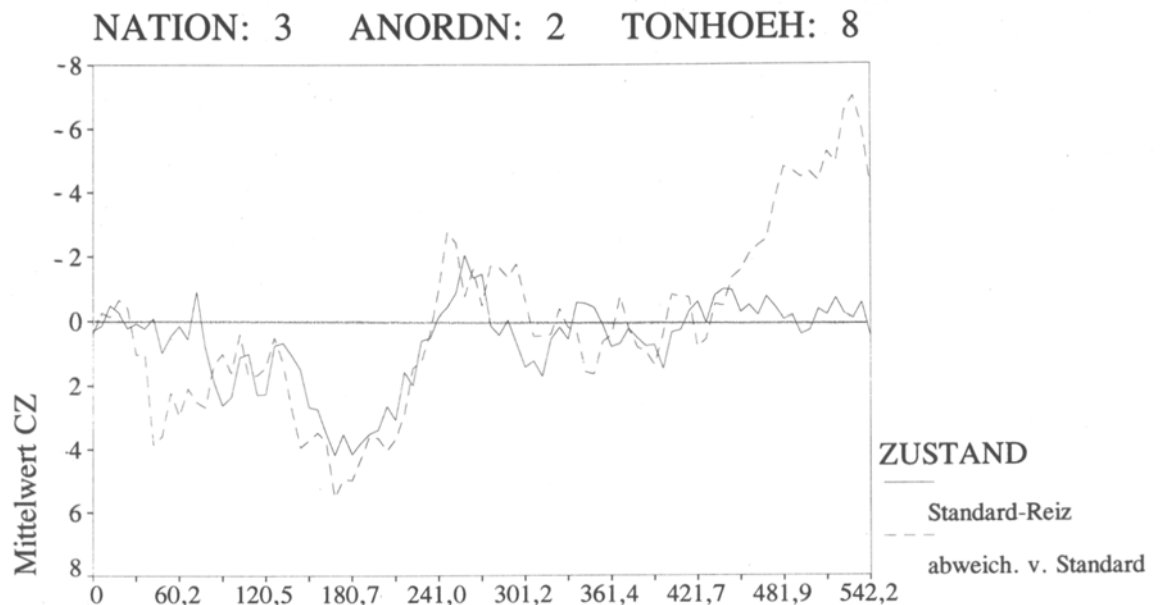


Abb.67. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 8 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 8 der Moll-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; relevant: Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

Der vierfaktoriellen Varianzanalyse zufolge wird die Ausprägung der abhängigen Variablen ‚Amplitudenwert‘ in Block 2 durch folgende Haupteffekte und Interaktionen signifikant beeinflusst:

- a) (Latenzbereich 1): durch die Meßwiederholungsfaktoren ‚Modus‘ und ‚Tonhöhe‘ (‚Modus‘, Dur-Stan vs. Moll-Dev: $F(1/12) = 7,18$ $p < 0,05$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 3,51$ $p < 0,05$) und
- b) (Latenzfenster 2): durch den Gruppierungsfaktor ‚Kultur‘ (Nation 1 bis 3: $F(2/12) = 4,44$ $p < 0,05$) sowie die Meßwiederholungsfaktoren ‚Modus‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Elektrodenposition‘ (‚Modus‘, Dur-Stan vs. Moll-Dev: $F(1/12) = 17,12$ $p < 0,001$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 7,39$ $p < 0,001$; ‚Elektrodenposition‘, Fz, Cz und Pz: $F(2/24) = 10,12$ $p < 0,01$). Auch die Interaktion 1. Ordnung ‚Kultur by Tonhöhe‘ bringt ein signifikantes Test-Ergebnis: ($F(14/84) = 2,8$ $p < 0,01$).

Zusammenfassung: Die wichtigsten Ergebnisse aus Block 2
(Skalen: Dur-Standard vs. Moll-Deviant)

1. Der dritte Ton der Moll-Tonleiter löst wider Erwarten keine P300-Komponente aus. Versuchsteilnehmer aus allen drei Kulturgruppen zeigen statt dessen eine negative Potentialverschiebung mit großen Spannungswerten. Sie ist auch der ‚Kultur grand averages‘-Darstellung zu entnehmen. Deutsche Probanden haben die größten lokalen Amplitudenmaxima (- 13,68 μV an Fz, -15,87 μV an Cz und - 16,8 μV an Pz). Die Stan/Dev-Kurven zeigen auch für den dritten Ton der *Dur*-Skala einen ‚negative shift‘. Er hat an allen Elektrodenpositionen geringere Amplitudenwerte als die entsprechenden Moll-Negativierungen.
2. Indische Musiker reagieren mit einer kleinen P3-Komponente auf den vierten Ton der Moll-Skala (Fz, Cz und Pz).

3. Moll-Ton 6 hat - ähnlich wie Moll-Ton 3 - keine P300-Komponente zur Folge. Inder und Türken zeigen statt dessen eine Negativität im zweiten Latenzfenster (Fz und Cz (bzw. Cz und Pz)). Sie hebt sich von der Dur-Kurve deutlich ab.
4. Indische Musiker bilden als Reaktion auf den achten Ton der Moll-Tonleiter eine negative Potentialverschiebung mit großen Amplitudenwerten aus (Fz und Cz). Das dazugehörige Dur-Potential schwankt im Latenzbereich 2 um die Nulllinie; deutsche Versuchsteilnehmer zeigen Zufallsaktivität in ihren Spannungskurven.

5.2.2.3. Block 3: Makam Hicaz (Standard) versus Thai-Skala (Deviant)

Der **N1/P2-Komplex** in den Summenkurven aller drei Kulturgruppen ist im Zeitintervall von 78 msec bis 222 msec zu finden. Ursache für diese Variationsweite in Block 3 ist das Kurvenverhalten der indischen Probanden: Inder prägen die N1-Komponente als Reaktion auf Thai-Ton 1 schon nach 78 msec nach Reiz-onset an Pz aus (deutsche und türkische Vpn haben den N1-Gipfel in Block 3 frühestens nach 105 msec). Habituationseffekte lassen sich an keiner Elektrodenposition, bei keinem Ton des makam Hicaz bzw. der Thai-Skala beobachten.

Ton 1:

Die Tonhöhe h^c (= 493,88 Hz) wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit auch in Block 3 als Ausgangspunkt (Startton) beibehalten. Thai- und Hicaz-Ton Nummer 1 weichen in der Frequenz also nicht voneinander ab. Zwischen dem Standard-(Hicaz)- und dem Deviant-(Thai)-Potential treten nur zufallsbedingte, kleine Amplitudenschwankungen auf (vgl. Abb. 68 sowie Anmerkungen zu Block 2, Ton 1).

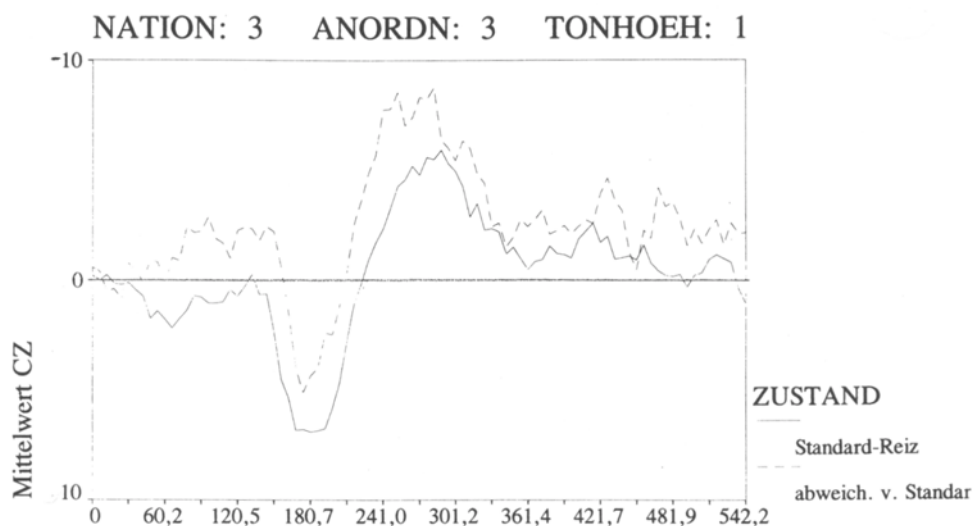


Abb.68. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 1 der makam-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 1 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz.

Ton 2:

Deutsche, türkische und indische Versuchspersonen reagieren auf den devianten Thai-Ton 2 mit einer **negativen Potentialverschiebung** an allen drei Elektrodenpositionen (Werte der lokalen Gipfelpunkte: deutsche Vpn: - 6,36 μV (Fz), - 8,17 μV (Cz und Pz); türkische Vpn: - 6,18 μV (Fz), - 7,15 μV (Cz) und - 7,3 μV (Pz); indische Vpn: - 6,48 μV (Fz), - 8,1 μV (Cz) und - 7,21 μV (Pz)). Auch der *Standard-Reiz* ‚Hicaz-Ton 2‘ löst bei deutschen und indischen Versuchsteilnehmern - nicht aber bei türkischen Probanden - eine Negativierung an allen drei Elektrodenpositionen aus (besonders deutlich in der ‚Kultur grand averages-Darstellung‘ zu sehen, Abb.69). Sie hat bei den deutschen und indischen Probanden ebenso große Amplitudenwerte wie der ‚negative shift‘ des devianten Thai-Potentials. Das Kurvenverhalten (Thai-Dev/Dur-Stan) der *türkischen* Versuchsteilnehmer führt zu einem signifikanten t-Test-Ergebnis. Es lautet: Pz: $t(14) = 2,6$ $p < 0,05$.

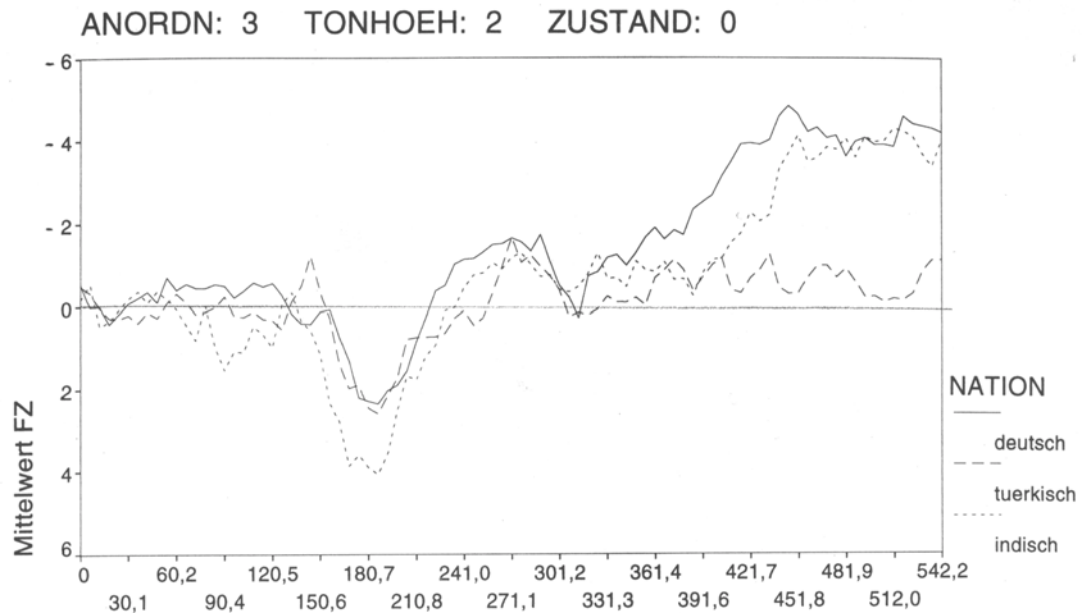


Abb.69. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 2 der makam-Standard-Skala, alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung von Meßpunkt Fz; analysiert wird der Kurvenverlauf im Latenzbereich 2 (430 msec - 540 msec).

Ton 3:

Auffällige elektrophysiologische Reaktionen sind für den dritten Ton der *Thai*-Tonleiter zu beobachten: Indische Musiker bilden eine **P3-Komponente** an Fz, Cz und Pz aus, deutsche und türkische Musiker zeigen im ersten Latenzbereich keine entsprechende Reaktion. *Türkische* Musiker ‚antworten‘ auf den dritten Thai-Ton erst im Latenzbereich 2. Die Amplitudenmaxima ihrer **negativen Potentialverschiebung** an Fz und Cz heben sich deutlich von den Spannungswerten der Standard-(makam)-Kurve ab (- 4,86 μV (Fz), - 5,98 μV (Cz)); diese schwankt im Latenzbereich 2 um die Nulllinie. Indische Probanden zeigen an Fz ebenfalls eine Negativierung (Amplitudenwert: - 6,45 μV). Für Ton 3 der Thai-Skala läßt sich keines der Ergebnisse durch statistische Angaben belegen.

Ton 4:

Besonderheiten im ERP-Verlauf bei Thai-Ton 4 sind ausschließlich für indische Versuchsteilnehmer zu beobachten: Sie haben an Fz einen **negative shift** (lokales Maximum nach 520 msec, Amplitudenwert: - 5,37 μV) und an Cz eine **P3-Komponente** (peak bei 331 msec, Amplitudenwert: 5,9 μV). Beide Meßpunkte heben sich deutlich von den Amplitudenwerten des *Standard*-Potentials ab. Für Thai-Ton 4 (resp. die indische Kulturgruppe) gibt es keine signifikanten t-Test- bzw. F-Test-Ergebnisse.

Ton 5:

Ton 5 der devianten Thai-Skala löst nur bei deutschen Musikern eine **P300**, sonst jedoch keine weiteren ERP-Komponenten aus. Die P300 hat an Fz einen Spannungswert von 4,22 μV und an Cz einen Wert von 6,15 μV . Der Amplitudenunterschied zwischen dem Standard-Hicaz- und dem Deviant-Thai-Potential in Latenzfenster 1 ist an Cz signifikant. Das Ergebnis des t-Tests lautet: Cz: $t(14) = - 2,55$ $p < 0,05$.

Ton 6:

Die Kurvenabbildungen zeigen für den sechsten Ton der Thai-Skala a) eine P3-Komponente und b) eine negative Potentialverschiebung: Die **P300-Komponente** ist nur bei türkischen Musikern, hier jedoch an allen drei Elektrodenpositionen zu beobachten (Amplitudenwerte: 4,63 μV (Fz), 5,43 μV (Cz) und 5,25 μV (Pz), vgl. Abb. 70). Die Amplitudendifferenz zwischen dem Hicaz- und dem Thai-Potential der türkischen Probanden bringt signifikante t-Test-Ergebnisse. Die Werte lauten: $t(14) = -2,24$ $p < 0,05$ für Cz und $t(14) = -2,71$ $p < 0,05$ für Pz. Deutsche Probanden prägen einen **negative shift** im zweiten Latenzbereich aus. Er hat an allen Elektrodenpositionen Gipfel mit großen Amplitudenwerten (Abb. 71), die sich von den Spannungswerten des Hicaz-Potentials unterscheiden: - 5,24 μV an Fz, - 4,75 μV an Cz sowie - 5,39 μV an Pz. Der t-Test bringt für Fz und Cz signifikante Resultate: Fz: $t(14) = 2,95$ $p < 0,01$ und Cz: $t(14) = 2,63$ $p < 0,05$.

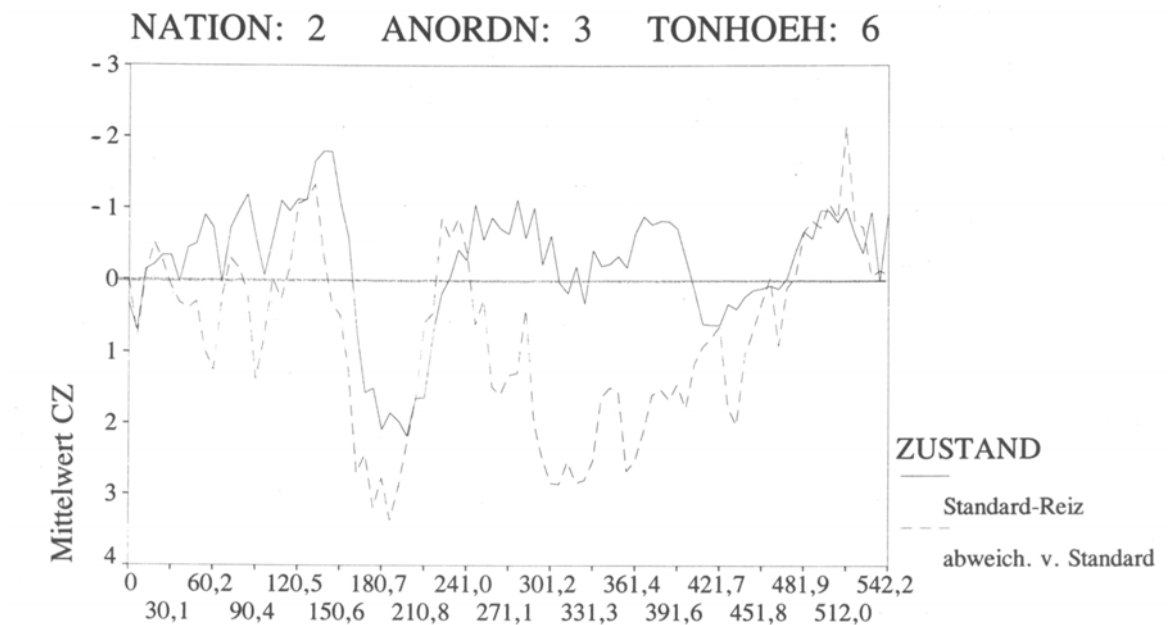


Abb.70. Grand average ERPs der türkischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 6 der makam-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 6 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; relevant: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

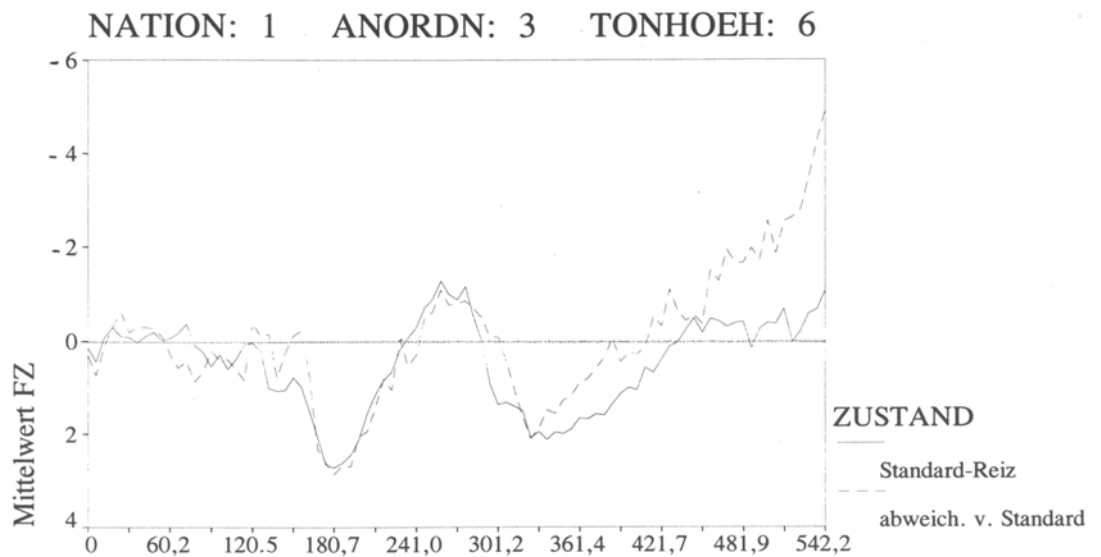


Abb.71. Grand average ERPs der deutschen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 6 der makam-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 6 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

Ton 7:

Deutsche und türkische Musiker prägen eine **P3-Komponente** an Fz und Cz aus:¹ Deutsche Probanden antworten nach jeweils 295 msec auf den Standard-(Hicaz)-Ton (Amplitudenwerte: 3,87 μ V (Fz) und 3,68 μ V (Cz), vgl. auch die ‚Kultur grand averages‘-Darstellung, Abb. 73). Türkische Versuchspersonen bilden den peak erst nach 425 msec aus, reagieren jedoch auf den siebten Ton der devianten *Thai*-Skala (Amplitudenwerte: 5,99 μ V (Fz) und 4,81 μ V (Cz), Abb. 72). Die Beobachtungen an Fz gehen mit einem signifikanten t-Test-Ergebnis einher, das bei einer einheitlichen Reaktion von Deutschen und Türken vermutlich hochsignifikant ausgefallen wäre. Der Wert lautet: $t(14) = -2,34$ $p < 0,05$.

¹ Indische Musiker haben beim siebten Ton der Thai-Skala einen 10 Hz- α -Rhythmus. Die α -Aktivität ist an Fz und Cz stark ausgeprägt und läßt deshalb keine weiteren Schlüsse in Hinblick auf eine mögliche Komponentenbildung zu.

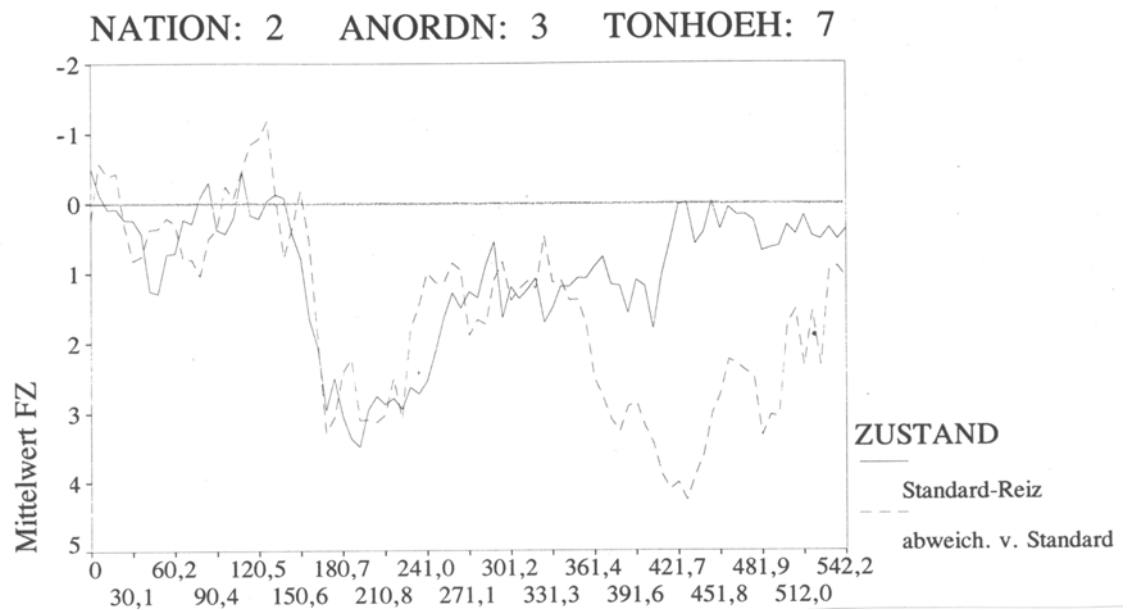


Abb.72. Grand average ERPs der türkischen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 7 der makam-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 7 der Thai-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

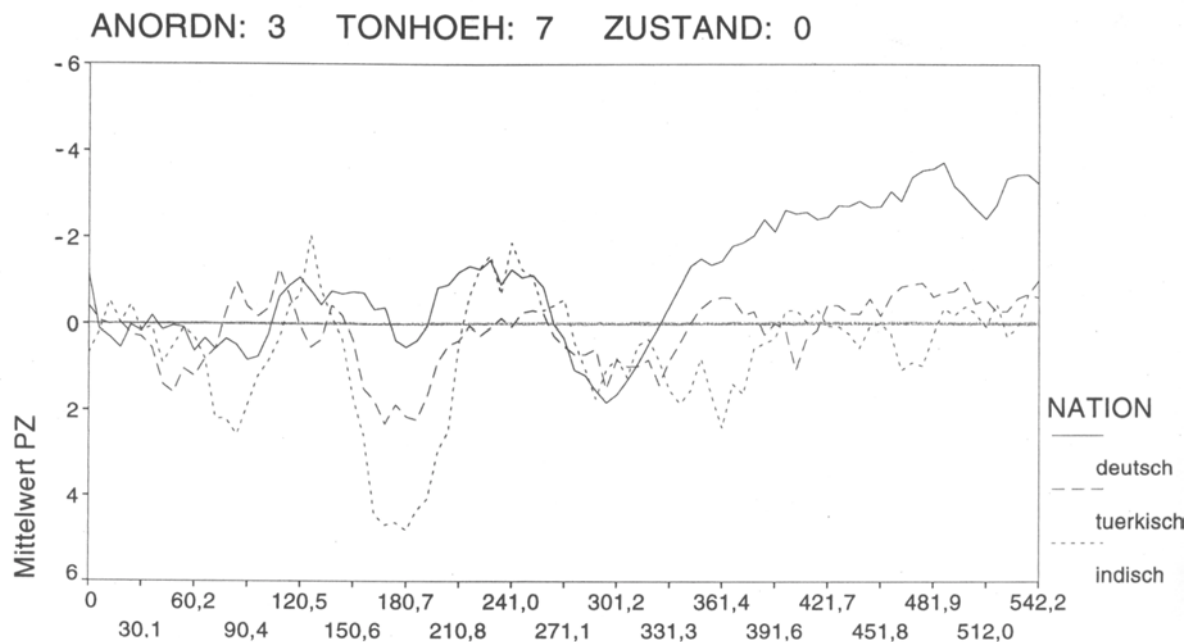


Abb.73. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 7 der makam-Standard-Skala, alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung von Meßpunkt Pz; analysiert wird der Kurvenverlauf im Latenzbereich 1 (270 msec - 430 msec).

Ton 8:

Für die deutsche Kulturgruppe läßt sich eine **P3-Komponente** an Fz und Cz beobachten (α -Aktivität ist überlagert). Sie ist die bioelektrische Reaktion auf die Wahrnehmung des achten devianten Thai-Tons (Amplitudenwerte: 6,42 μ V (an Fz) und 5,22 μ V (an Cz)) und grenzt sich deutlich vom lokalen Tiefpunkt der Hicaz-Spannungskurve ab. Türkische und indische Probanden zeigen keine entsprechende P300-Welle. Ein signifikantes t-Test-Ergebnis gibt es nicht.

Das Resultat der vierfaktoriellen Varianzanalyse (durchgeführt mit der Prozedur MANOVA) zeigt, daß folgende Haupteffekte einen signifikanten Einfluß auf die Amplitudengröße haben:

- a) (Latenzbereich 1): die Meßwiederholungsfaktoren (Haupteffekte) ‚Modus‘ und ‚Tonhöhe‘ (‚Modus‘, makam Hicaz-Stan vs. Thai-Dev: $F(1/12) = 35,43$ $p < 0,001$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 4,05$ $p < 0,01$).
- b) (Latenzbereich 2): die Meßwiederholungsfaktoren ‚Modus‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Elektrodenposition‘ (‚Modus‘, makam Hicaz-Stan vs. Thai-Dev: $F(1/12) = 9,32$ $p < 0,01$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 5,13$ $p < 0,01$; ‚Elektrodenposition‘, Fz, Cz und Pz: $F(2/24) = 12,65$ $p < 0,001$).

Zusammenfassung: **Die wichtigsten Ergebnisse aus Block 3**
(Skalen: Makam Hicaz (Standard) vs. Thai-Tonleiter (Deviant))

1. Ton 2 hat eine negative Potentialverschiebung zur Folge: Sämtliche Kulturgruppen prägen sie an Fz, Cz und Pz für den devianten *Thai*-Ton aus. Ton 2 des *makam Hicaz* (Standard) geht nur bei deutschen und indischen Musikern mit einem ‚negative shift‘ einher (Fz, Cz, und Pz, vgl. ‚Kultur grand averages‘).
2. Deutsche, Türken und Inder zeigen beim dritten devianten Thai-Ton - nicht aber beim makam Hicaz-Ton - eine deutliche elektrophysiologische Reaktion: Indische und deutsche

Versuchsteilnehmer prägen eine P3-Komponente aus, bei türkischen Musikern ist ein ‚negative shift‘ vorhanden (Fz und Cz).

3. Auf Thai-Ton 4 reagieren ausschließlich die indischen Versuchsteilnehmer mit ERP-Komponenten. In der haben eine Negativität an Fz und eine P3-Komponente an Cz.
4. Ton 5 der äquiheptatonischen Thai-Skala löst nur bei deutschen Probanden eine auffällige bioelektrische Reaktion aus. Es ist ein P3-peak an Fz und Cz.
5. Türkische Musiker bilden bei der Wahrnehmung von Thai-Ton 6 eine P300-Komponente aus (Fz, Cz und Pz), für deutsche Musiker ist statt dessen eine negative Potentialverschiebung an allen Elektrodenpositionen zu beobachten.
6. Ton 7 geht mit einer P300-Komponente einher: für deutsche Probanden als Reaktion auf den *Standard*-Ton (makam Hicaz) (Fz und Cz), für türkische Versuchsteilnehmer als Antwort auf den devianten siebten Ton der *Thai*-Skala (Fz und Cz).
7. Deutsche Musiker prägen beim Hören des achten Thai-Tons an Fz und Cz eine P300-Komponente aus.

5.2.2.4. Block 4: Dur-Skala (Standard) versus Makam Hicaz (Deviant)

Die Ausprägung des **N1/P2-Komplexes** in Block 4 zeigt einige Unregelmäßigkeiten: Die Summenkurve der deutschen Versuchsteilnehmer für Dur-Ton 6 enthält an Position Pz keine ‚onset response‘. Deutsche Musiker weisen auch bei Dur-Ton 3 (α -Rhythmus) sowie bei Dur-Ton 7 und Hicaz-Ton 2 kein exaktes N1-/P2-Pattern an Pz auf. Für *türkische* Probanden ist die N1-Komponente bzw. der N1/P2-Komplex bei Dur-Ton 2 und 3 - infolge von α -Aktivität - an Pz nicht deutlich zu erkennen. *In der* zeigen diese Ausnahme für Hicaz-Ton 7 (Position Cz). Der Latenzbereich für den N1/P2-Komplex hat in Block 4 eine Breite von insgesamt 127 msec (unterer und oberer Grenzwert: 78 msec und 205 msec).

Ton 1:

Die ‚Ausgangspositionen‘ von Block 4 und Anordnung 1 bis 3 stimmen miteinander überein: Hier wie dort haben die Standard-Skala und die deviante Tonleiter im Ton h⁶ (= 493,88 Hz) ihren Ursprung. Die Verlaufsformen des Dur- und Hicaz-Potentials weichen in beiden Latenzfenstern nur zufallsbedingt voneinander ab (Abb. 74 und Abb. 75).

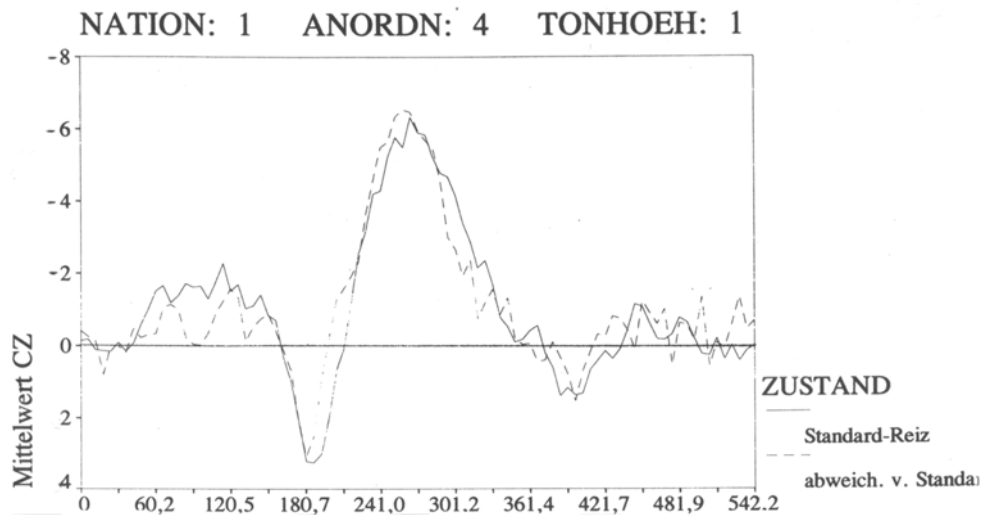


Abb.74. Grand average ERPs der deutschen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 1 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 1 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz.

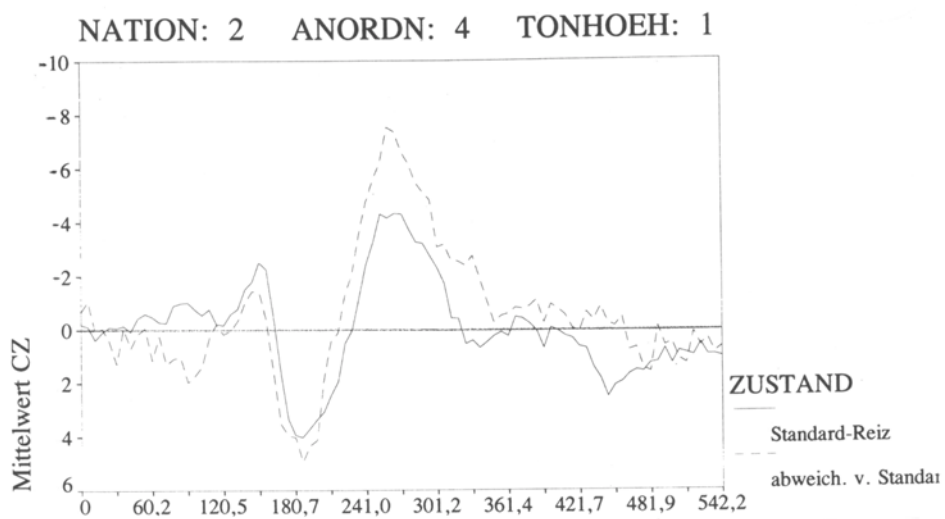


Abb.75. Grand average ERPs der türkischen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 1 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 1 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz.

Ton 2:

Ton 2 der devianten Tonleiter ‚makam Hicaz‘ löst keine P300, wohl aber eine **negative Potentialverschiebung** an allen Elektrodenpositionen aus; sie hat bei deutschen und indischen Probanden größere Amplitudenwerte als bei türkischen Musikern. Der Sachverhalt ist auch aus den ‚Kultur grand averages‘ zu entnehmen (mittlere Spannungswerte: deutsche Vpn: - 16,69 μV (Fz), - 17,29 μV (Cz) und - 17,95 μV (Pz), indische Vpn: - 11,82 μV (Fz), - 11,7 μV (Cz) und - 13,18 μV (Pz), türkische Vpn: - 7,19 μV (Fz), - 9,39 μV (Cz) und - 9,64 μV (Pz)). Deutsche und indische Versuchspersonen prägen für den *Dur*-(Standard-)Ton ebenfalls eine Negativierung an allen drei Elektrodenplatzierungen aus. Dieser ‚negative shift‘ hat geringere Amplitudenwerte als der entsprechende Spannungsverlauf des Hicaz-Potentials (vgl. Abb.76, 77 und 78). Die Amplitudenunterschiede zwischen der *Dur*-(Stan)- und der Hicaz-(Dev)-Kurve sind im Latenzbereich 2 hochsignifikant. Das Ergebnis des t-Tests lautet: für Fz: $t(14) = 4,66$ $p < 0,001$, für Cz: $t(14) = 4,28$ $p < 0,001$ und für Pz: $t(14) = 6,08$ $p < 0,001$. Unterschiede in der Amplitudenausprägung, die auf den Gruppierungsfaktor ‚Kultur‘ zurückzuführen sind, werden ebenfalls durch signifikante Ergebnisse gestützt: a) Der ‚omnibus F-Test‘ bringt mit Blick auf den *Dur*-Ton folgende Resultate: Fz: $F(2/12) = 4,46$ $p < 0,05$ und Cz: $F(2/12) = 4,01$ $p < 0,05$ (hierfür keine weitere Differenzierung mittels Scheffé). b) In bezug auf den Hicaz-Ton gibt es nur ein signifikantes F-Test-Ergebnis: Fz: $F(2/12) = 4,33$ $p < 0,05$. Der Scheffé-Test spezifiziert das Resultat; als Erklärung kommt die auffällige Amplitudendifferenz zwischen den ‚negative shifts‘ von *deutschen* und *türkischen Probanden* in Betracht.

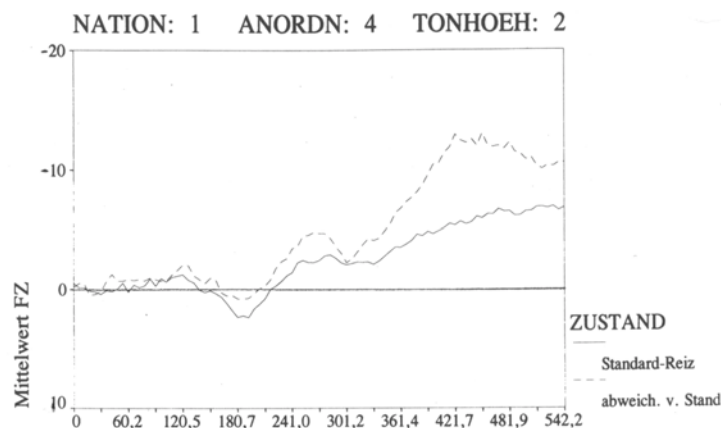


Abb.76. Grand average ERPs der deutschen Kulturgruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 2 der *Dur*-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 2 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

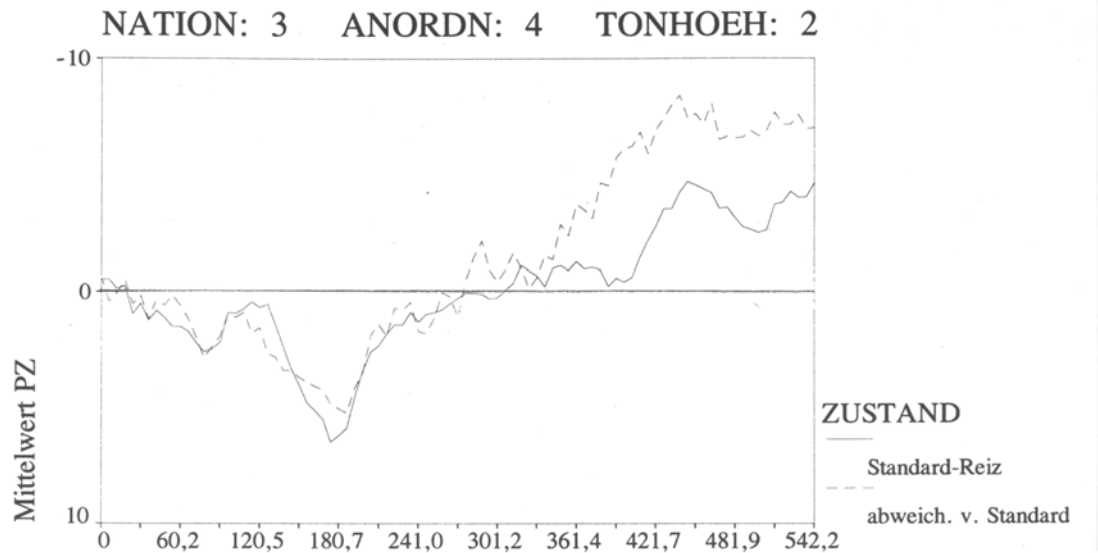


Abb.77. Grand average ERPs der indischen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 2 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 2 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Pz; analysiert wurde der Latenzbereich von 430 msec - 540 msec.

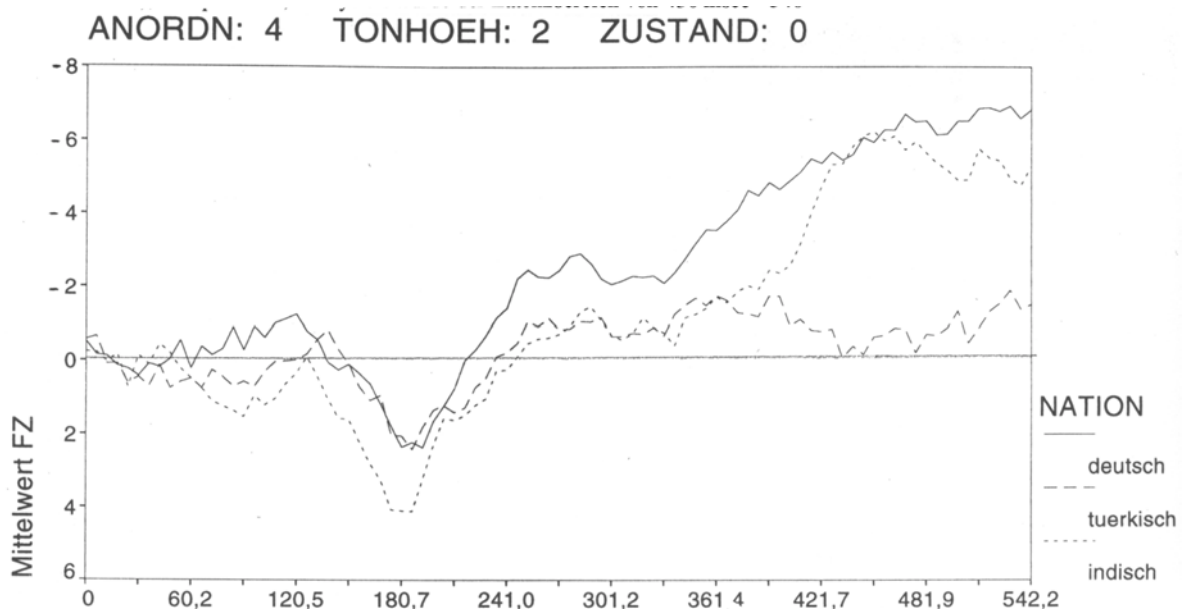


Abb.78. Zusammenstellung der Potentialkurven für Ton 2 der Dur-Standard-Skala, alle drei Kulturgruppen. Grand average ERPs der deutschen Vpn (durchgezogene Linie), der türkischen Vpn (gestrichelte Linie) und der indischen Vpn (gepunktete Linie). Aufzeichnung von Meßpunkt Fz; analysiert wird der Kurvenverlauf im Latenzbereich 2 (430 msec - 540 msec).

Ton 3

Türkische Musiker zeigen als einzige Versuchsteilnehmer eine **P3-Komponente** an allen drei Elektrodenpositionen als Reaktion auf den dritten Ton der ‚makam Hicaz‘-Leiter: Amplitudenwerte: 5,25 μV (Fz), 5,94 μV (Cz) und 6,62 μV (Pz). Zwei signifikante Ergebnisse des t-Tests stützen den visuellen Befund: Cz: $t(14) = -2,76$ $p < 0,05$ und Pz: $t(14) = -2,7$ $p < 0,05$.

Ton 4:

Eine bioelektrische Reaktion auf Ton 4 der Hicaz-Skala ist nur bei indischen Probanden zu beobachten: Inder prägen im ersten Latenzbereich eine ‚long lasting positivity‘ an Position Fz und eine **P300-Komponente** (7,26 μV) an Cz aus. Positive Verschiebungen als Reaktion auf den *Dur*-Ton haben erheblich geringere Spannungswerte. Der Amplitudenunterschied zwischen dem *Dur*- und dem Hicaz-Potential in Latenzbereich 1 ist an Fz signifikant: $t(14) = -2,22$ $p < 0,05$.

Ton 5:

Für den fünften Ton der *Dur*- bzw. Hicaz-Leiter gibt es weder eine P300 noch eine negative Potentialverschiebung im jeweiligen Latenzfenster.

Ton 6:

Deutsche Musiker bilden bei Ton 6 des makam Hicaz eine **negative Potentialverschiebung** an allen drei Elektrodenpositionen aus (an Pz: mit einer Überlagerung von α -Aktivität). Inder zeigen nur an Position Cz eine Negativierung (Amplitudenwerte: deutsche Vpn: - 3,42 μV (Fz), - 5,22 μV (Cz) und - 6,26 μV (Pz); indische Vpn: -5,44 μV (Cz)). Der Amplitudenunterschied zwischen dem ‚negative shift‘ des Hicaz-Potentials und dem Verlauf der Standard-*Dur*-Kurve ist signifikant. Das Ergebnis des t-Tests lautet: Cz: $t(14) = 2,2$ $p < 0,05$ und Pz: $t(14) = 2,93$ $p < 0,05$.

Ton 7:

Hicaz-Ton 7 löst bei deutschen und indischen Musikern unterschiedliche ERP-Reaktionen aus: Deutsche Versuchspersonen bilden keine P3-Komponente, dafür jedoch eine **Negativierung** an allen drei Elektrodenplazierungen aus (Amplitudenwerte: $-5,48 \mu\text{V}$ (Fz), $-7,49 \mu\text{V}$ (Cz) und $-8,93 \mu\text{V}$ (Pz); Abb.79). Indische Probanden zeigen an Fz und Cz keinen ‚negative shift‘, statt dessen aber eine **P300-Komponente** ($7,65 \mu\text{V}$ (Fz) und $7,62 \mu\text{V}$ (Cz), Abb.80). Die Negativität für Hicaz-Ton 7 im Vergleich zum Spannungsverlauf des Dur-Potentials bringt signifikante t-Test-Ergebnisse. Sie lauten: Fz: $t(14) = 2,52$ $p < 0,05$, Cz: $t(14) = 2,29$ $p < 0,05$ und Pz: $t(14) = 3,04$ $p < 0,01$.

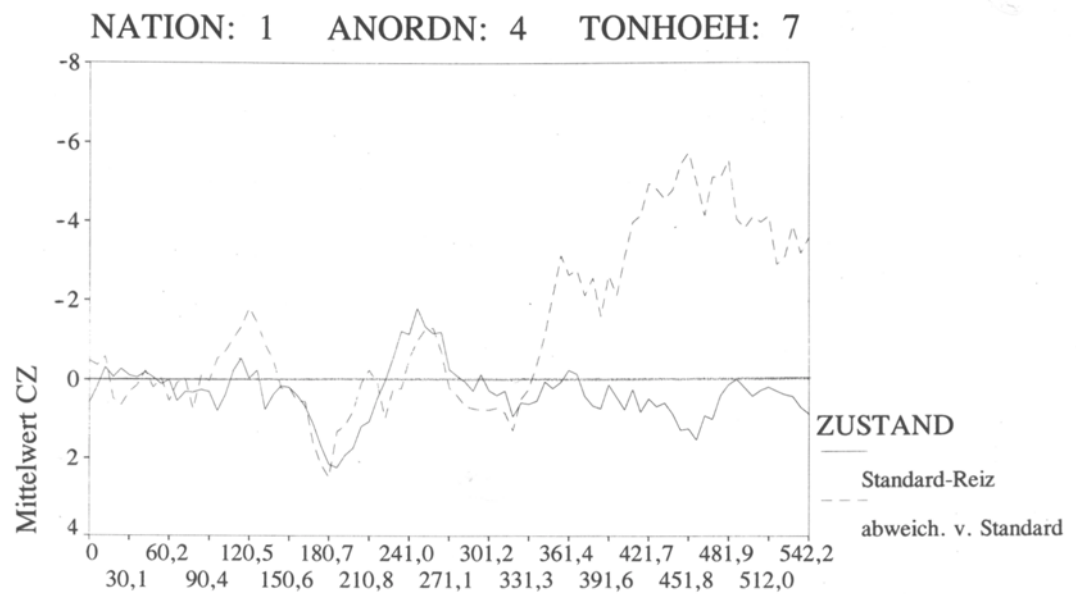


Abb.79. Grand average ERPs der deutschen Kulturgruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 7 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 7 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 2 (430 msec - 540 msec).

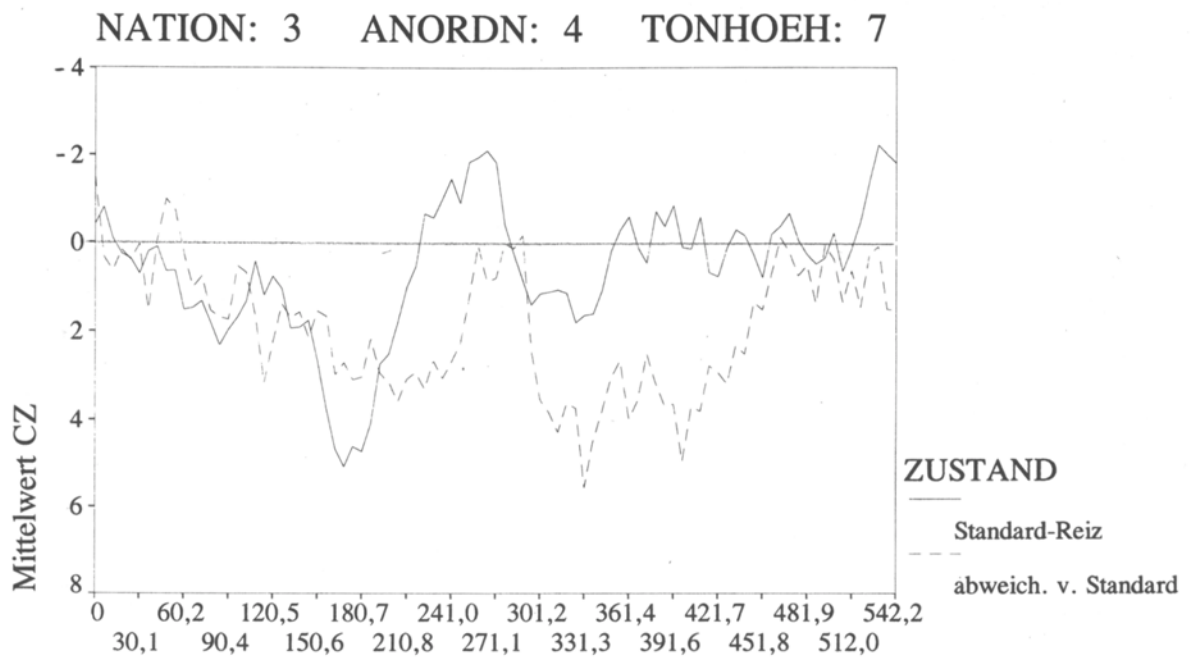


Abb.80. Grand average ERPs der indischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 7 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 7 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Ton 8:

Für den achten Ton der devianten Hicaz-Skala gibt es lediglich im Latenzbereich 1 auffällige Reaktionen: Erstmals haben auch *indische* Probanden mit einer **P300-Komponente** auf einen achten Skalenton reagiert (Amplitudenwerte: 4,01 μV (Fz, Abb. 82), 4,81 μV (Cz) und 4,52 μV (Pz)). Deutsche Musiker zeigen an Fz und Cz, türkische Versuchsteilnehmer an Cz und Pz (dort mit einer Überlagerung von α -Aktivität) vergleichbare Kurvenreaktionen. Ihre P300-Komponenten haben folgende Spannungswerte: deutsche Vpn: 5,81 μV (an Fz) und 5,14 μV (an Cz), türkische Vpn: 6,97 μV (an Cz, Abb. 81) sowie 8,79 μV (an Pz). Die Ergebnisse für Ton 8 wurden visuell ermittelt; eine Bestätigung durch signifikante t-Test- oder F-Test-Resultate gibt es hierfür nicht.

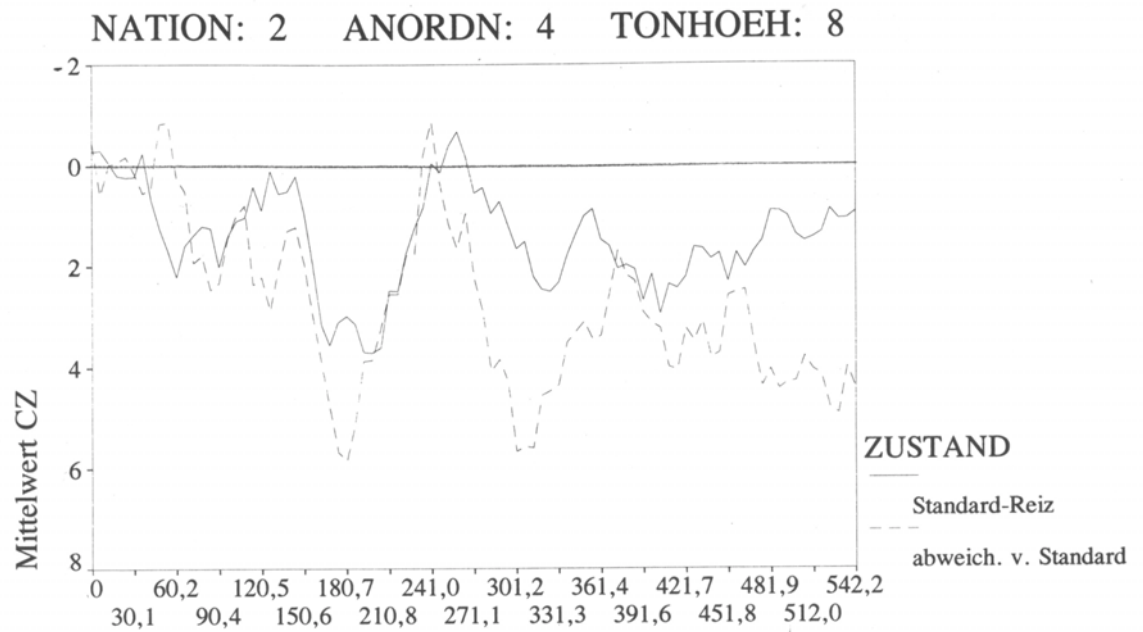


Abb.81. Grand average ERPs der türkischen Kulturgruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 8 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 8 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

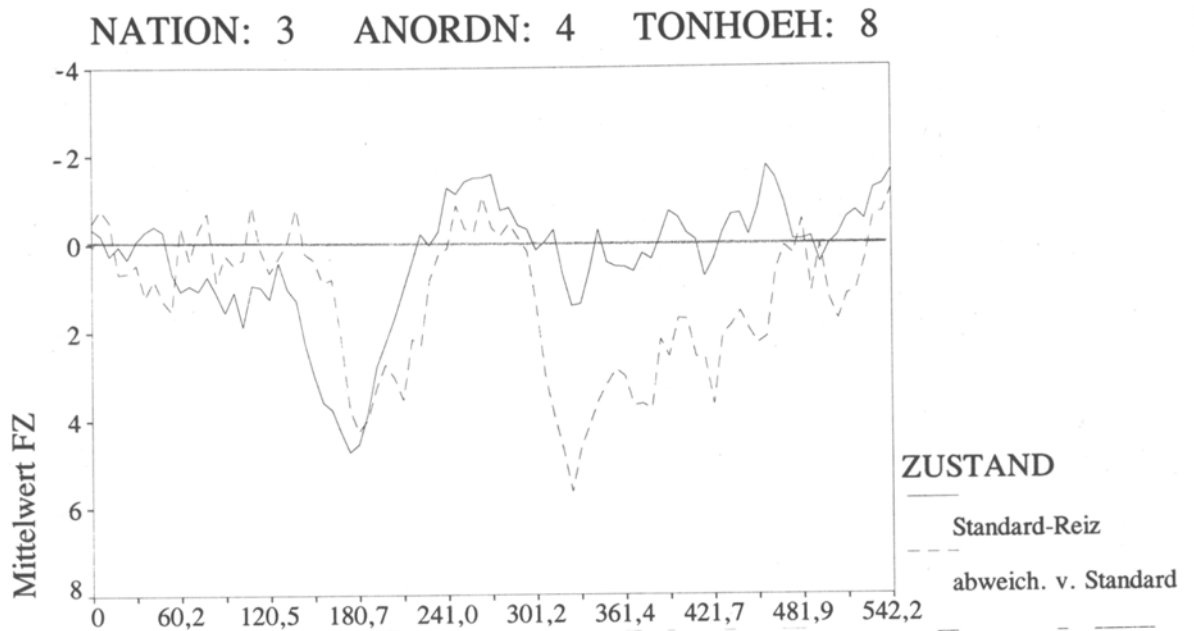


Abb.82. Grand average ERPs der indischen Versuchsteilnehmer. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 8 der Dur-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 8 der makam-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Mit der Prozedur MANOVA wurde auch für Block 4 eine vierfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Sie brachte für folgende Haupteffekte und Interaktionen signifikante F-Werte:

- a) (Latenzbereich 1): für die Meßwiederholungsfaktoren ‚Modus‘ und ‚Tonhöhe‘ (‚Modus‘, Dur-Stan vs. makam Hicaz-Dev: $F(1/12) = 12,32$ $p < 0,01$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 9,18$ $p < 0,001$) und
- b) (im Latenzbereich 2): für die Haupteffekte ‚Modus‘, ‚Tonhöhe‘ und ‚Elektrodenposition‘ (‚Modus‘, Dur-Stan vs. makam Hicaz-Dev: $F(1/12) = 84,27$ $p < 0,001$; ‚Tonhöhe‘, Ton 1 bis 8: $F(7/84) = 17,05$ $p < 0,001$, ‚Elektrodenposition‘, Fz, Cz und Pz: $F(2/24) = 12,44$ $p < 0,001$). Außerdem für die Interaktion 1. Ordnung ‚Modus by Tonhöhe‘ ($F(7/84) = 5,27$ $p < 0,001$).

Zusammenfassung: Die wichtigsten Ergebnisse aus Block 4
(Skalen: Dur-Tonleiter (Standard) vs. makam Hicaz (Deviant))

1. Ton 2 hat eine Negativierung an Fz, Cz und Pz zur Folge.
Deutsche und indische Musiker prägen sie sowohl beim Wahrnehmen des Hicaz-Tons als auch beim Hören des Standard-Dur-Tons aus. Türken reagieren nur auf den Hicaz-Reiz (vgl. ‚Kultur grand averages‘).
2. Ton 3 des makam Hicaz löst bei türkischen Probanden eine P300-Komponente an Fz, Cz und Pz aus.
3. Das Kurvenbild der indischen Musiker zeigt für Hicaz-Ton 4 eine ‚long lasting positivity‘ an Fz und eine P300-Welle an Cz; diese unterscheidet sich in ihren Spannungswerten erheblich von der positiven Verschiebung der Dur-Kurve. Deutsche und Türken prägen keine entsprechenden Komponenten aus.
4. Deutsche und indische Musiker reagieren auf Hicaz-Ton 7 in unterschiedlicher Weise: Deutsche Probanden bilden keine P300, wohl aber eine negative Potentialverschiebung an allen Elektrodenpositionen aus. Für indische Versuchsteilnehmer ist - vice versa - eine P300-Welle an Fz und Cz zu ‚orten‘.

5. Inder antworten *erstmal*s mit einer P300-Komponente auf den **achten** Ton einer Leiter und bilden die Welle für den achten Ton der devianten Hicaz-Skala an Fz, Cz und Pz aus. Für deutsche Versuchsteilnehmer ist eine P300 nur an Fz und Cz, für Türken an Cz und Pz zu beobachten.

5.2.2.5. Block 5: Thai-Standard versus Dur-Deviant

In den Summenkurven des fünften Versuchsblockes ist ein deutlich ausgeformtes N1/P2-Muster nahezu durchgängig vorhanden: Inder weisen den **N1/P2-Komplex** in sämtlichen grand averages auf. Im Kurvenbild der deutschen Musiker fehlt eine deutliche N1-Komponente bei Dur-Ton 8 (Position Cz), bei türkischen Musikern für Dur-Ton 1 (Position Pz). Für die ‚onset response‘ ist die Streuung der Latenzwerte insgesamt größer als in den Anordnungen 1, 2, 3 und 4. Der Latenz-Bereich für den N1/P2-Komplex ist deshalb zu erweitern, er hat die Eckwerte 68 msec und 213 msec.

Ton 1:

Der Ton h⁴ (= 493,88 Hz) ist auch in Block 5 der gemeinsame Ausgangspunkt sowohl für die Standard-*Thai*-Skala als auch für die deviante Dur-Tonleiter. Im gesamten Verlauf der Thai- und Dur-Potentialkurve gibt es für jede Kulturgruppe nur geringfügige, zufallsbedingte Amplitudenschwankungen an Fz, Cz und Pz.

Ton 2:

Ein Anstieg der Thai- und der Dur-Spannungskurve im zweiten Latenzbereich (**negative shift**) ist für deutsche Versuchspersonen an Elektrodenposition Cz zu beobachten, der t-Test liefert hierzu kein signifikantes Ergebnis.

Ton 3:

Deutsche Probanden haben als einzige Versuchsgruppe ERP-Komponenten für Ton 3 ausgeprägt: Ton 3 des Thai-Standards geht mit einer kleinen **P300** an Fz, Cz und Pz einher, sie unterscheidet sich in ihren Amplitudenwerten deutlich vom lokalen Tiefpunkt des Dur-Spannungsverlaufs (Abb.83). Eine **negative Potentialverschiebung** ist im zweiten Latenzbereich als Reaktion auf den Standard-Thai-Ton und auch auf den devianten Dur-Ton zu beobachten (Fz, Cz und Pz). Der Amplitudenunterschied in den ‚negative shifts‘ bringt für Position Pz ein signifikantes t-Test-Ergebnis. Es lautet: $t(14) = 2,5$ $p < 0,05$.

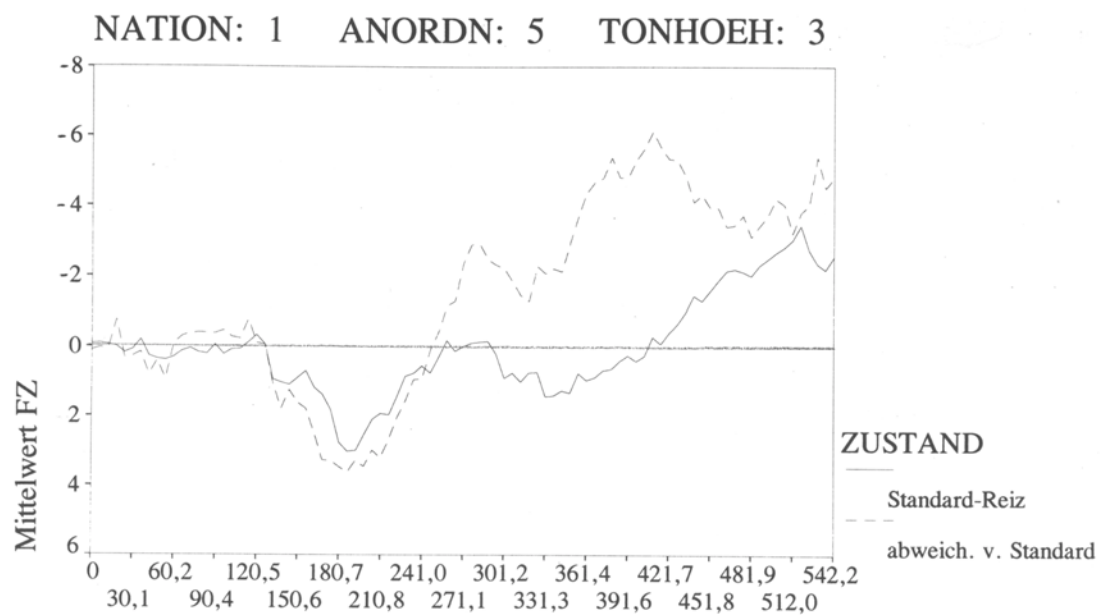


Abb.83. Grand average ERPs der deutschen Kulturgruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 3 der Thai-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 3 der Dur-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz.

Ton 4:

Ton 4 löst eine **P300-Komponente** bei türkischen und indischen Musikern aus. Türken reagieren mit einer ‚späten‘ P300 auf den devianten *Dur*-Ton, die Kurvendarstellung zeigt einen positiven ‚peak‘ an Fz und Cz nach 422 msec (Abb. 84). Indische Versuchspersonen antworten auf den *Thai-Standardreiz* und prägen eine P300 an Fz, Cz und Pz aus; das zugehörige *Dur*-Potential kreist um die Nulllinie (Abb. 85). Ein signifikantes t-Test- oder F-Test-Ergebnis gibt es nicht. (Deutsche Probanden zeigen Zufallsaktivität an den drei Elektrodenplazierungen).

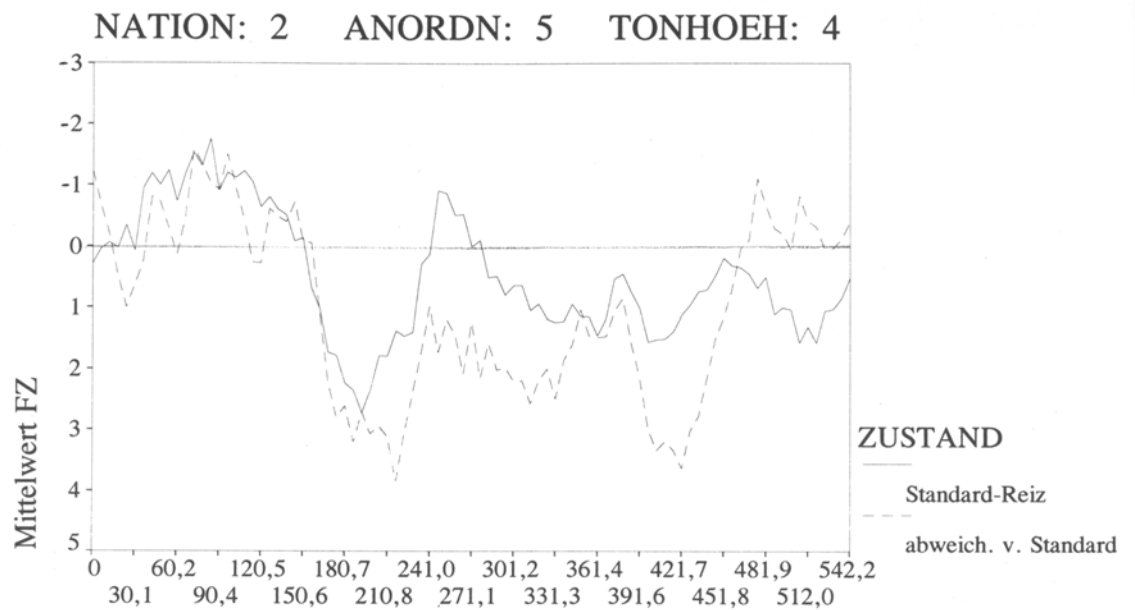


Abb.84. Grand average ERPs der türkischen Probandengruppe. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 4 der Thai-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 4 der *Dur*-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

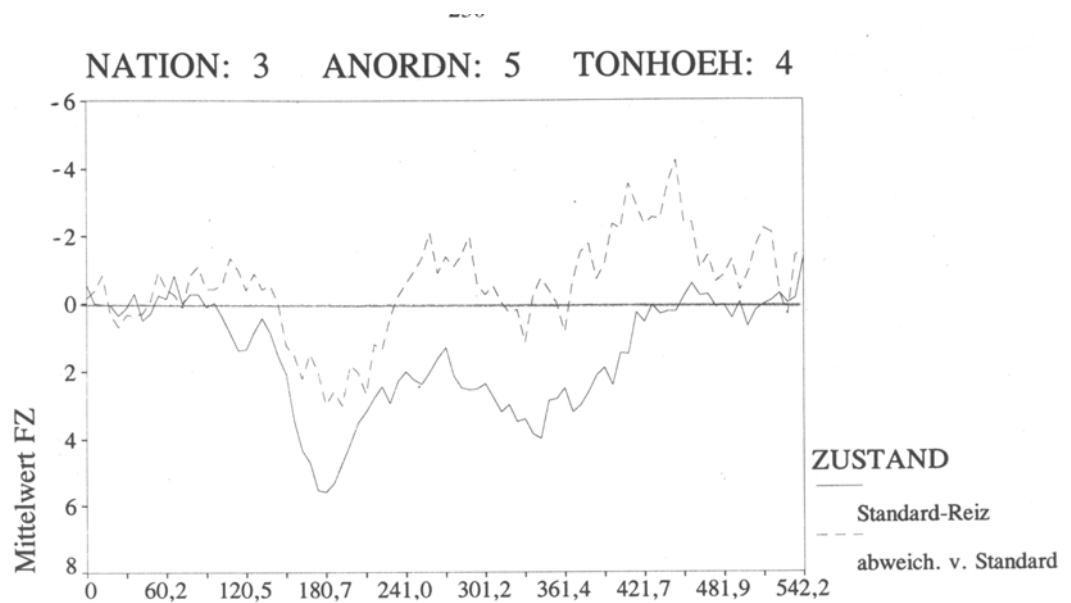


Abb.85. Grand average ERPs der indischen Probanden. Elektrophysiologische Reaktionen für Ton 4 der Thai-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 4 der Dur-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Fz; Bereich der Auswertung: Zeitabschnitt 1 (270 msec - 430 msec).

Ton 5:

Für keine der drei Kulturgruppen ist eine P300-Welle oder negative Potentialverschiebung im Kurvenbild von Ton 5 zu erkennen.

Ton 6:

Indische Musiker bilden für den sechsten Ton der devianten Dur-Skala ERP- Komponenten mit großen Amplitudenwerten im ersten Latenzfenster aus: eine ‚long lasting positivity‘ an Fz und eine **P300** an Cz. Beide ‚Wellentäler‘ heben sich deutlich von der Thai-Standard-Kurve ab (Abb.86). Der t-Test gibt dazu zwei signifikante Ergebnisse: $t(14) = - 2,36$ $p < 0,05$ für Fz und $t(14) = - 3,56$ $p < 0,01$ für Cz. Die grand averages der deutschen und türkischen Versuchsteilnehmer zeigen keine vergleichbaren ‚positive shifts‘.

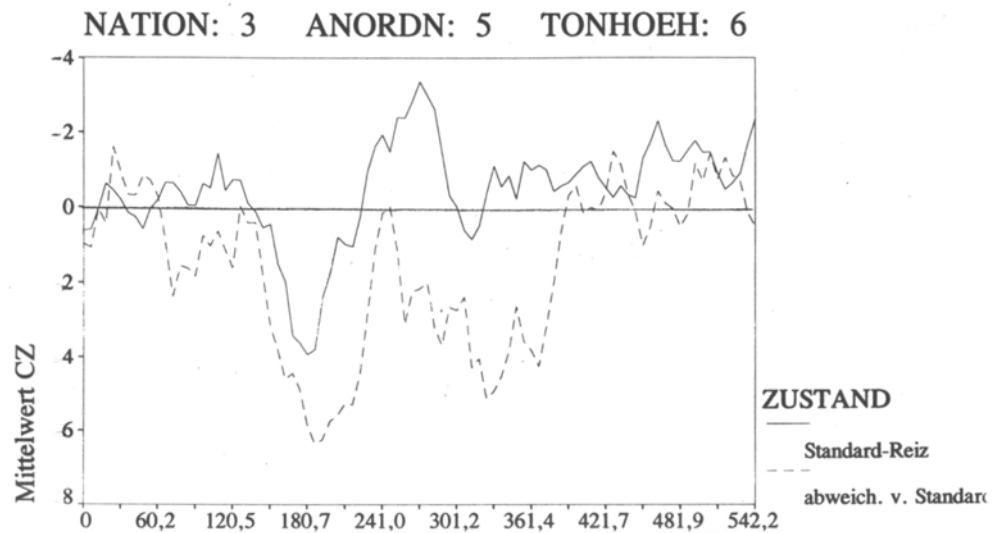


Abb.86. Grand average ERPs der indischen Kulturgruppe. Elektrophysiologische Reaktionen auf Ton 6 der Thai-Standard-Skala (durchgezogene Linie) und Ton 6 der Dur-Deviant-Skala (gestrichelte Linie), Meßpunkt Cz; analysiert wird der Kurvenverlauf in Zeitabschnitt 1 (270 msec- 430 msec).

Ton 7:

Thai-Ton 7 löst eine **P300-Komponente** aus, Dur-Ton 7 hat eine **negative Potentialverschiebung** zur Folge. Deutsche zeigen die Welle ‚P300‘ an Fz und Cz (Amplitudenwerte: 3,53 μV (Fz) und 3,52 μV (Cz)), Inder nur an Position Fz (4,32 μV). Die Negativierung als Reaktion auf den devianten *Dur*-Ton hat für beide Probandengruppen folgende Spannungswerte: deutsche Vpn: - 4,93 μV (Fz) und - 6,47 μV (Cz), indische Vpn: - 5,44 μV (an Fz). Zum ‚negative shift‘ liegen zwei signifikante Ergebnisse des t-Tests vor: $t(14) = 3,02$ $p < 0,01$ für Position Fz und $t(14) = 3,4$ $p < 0,01$ für Position Cz.

Ton 8:

Die Stan-/Dev-Skizzen zeigen nur für die Gruppe der türkischen Probanden eine auffällige ERP-Reaktion: Türkische Musiker haben eine **P300-Welle** bei Thai-Ton 8 an Cz ausgeprägt (Amplitudenwert: 3,86 μV).

Nach Durchführung einer vierfaktoriellen Varianzanalyse konnte ein signifikanter Einfluß auf die ‚Amplitudengröße‘ für folgende Haupteffekte und Interaktionen nachgewiesen werden:

- a) (Latenzbereich 1): für den Meßwiederholungsfaktor ‚Modus‘ (Thai-Stan vs. Dur-Dev: $F(1/12) = 6,86$ $p < 0,05$)
- b) (Latenzbereich 2): für die Haupteffekte ‚Modus‘ und ‚Elektrodenposition‘ (‚Modus‘, Thai-Stan vs. Dur-Dev: $F(1/12) = 15,76$ $p < 0,01$ ‚Elektrodenposition‘, Fz, Cz und Pz: $F(2/24) = 11,38$ $p < 0,001$) sowie für die Interaktion 1. Ordnung ‚Modus by Elektrodenposition‘ ($F(2/24) = 9,11$ $p < 0,01$)

Zusammenfassung: Die wichtigsten Ergebnisse aus Block 5
(Skalen: Thai-Standard vs. Dur-Deviant)

1. Anders als in Block 1 bis 4 ist weder für Thai-Ton 2 (Standard-Reiz) noch für Dur-Ton 2 (Deviant-Reiz) eine auffällige ERP-Komponente in einem der beiden Latenzfenster ausfindig zu machen.
2. Ton 3 löst nur bei deutschen Probanden Komponentenreaktionen aus: Eine P300 mit kleinen Amplitudenwerten ist nach Wahrnehmung des Standard-(Thai)-Reizes an Fz, Cz und Pz vorhanden. Latenzbereich 2 zeigt - sowohl für die Thai- als auch für die Dur-Kurve - eine Negativierung an allen drei Elektrodenpositionen.
3. Ton 4 hat bei Türken und Indern eine P300-Welle zur Folge; türkische Versuchsteilnehmer prägen diese bei der Perzeption des devianten Dur-Tons (Fz und Cz) und Inder beim Hören des Standard-Thai-Tons (Fz, Cz und Pz) aus.
4. Auch für Ton 7 der Thai-Skala ist eine P300 im Kurvenbild erkennbar. Deutsche Musiker bilden sie an Fz und Cz, indische nur an Fz aus: Für Ton 7 der *Dur*-Leiter gibt es an denselben Elektrodenplazierungen eine Negativität.
5. Türkische Probanden antworten auf Thai-Ton 8 mit einer P300-Komponente (Cz).

6. Interpretation

6.1. ‚Negative shift‘ :

Begriffsbildung ‚per negationem‘, durch Ausschluß ähnlicher ERP-Wellen und Potentialverschiebungen

Im Latenzbereich 2 eines jeden Versuchsblocks war eine negative Potentialverschiebung zu beobachten. Sie ist eine endogene Komponente¹ und wurde a posteriori, durch Messung gefunden. Ihre Funktion als bioelektrischer Indikator soll für jeden Ton im Detail (Kapitel 6.2.) sowie unter psychophysiologischem und anderen Gesichtspunkten diskutiert werden (Kapitel 7). Hierfür ist es ratsam, die Negativierung zunächst einmal *begrifflich* zu erfassen, fernerhin soll die Struktur der P300-Welle kurz beleuchtet werden. Beiden Potentialarten werden zu diesem Zweck die in der Literatur beschriebenen ERP-Phänomene mit ihren Paradigmen gegenübergestellt.

1. Kann die experimentell gefundene Potentialverschiebung als ‚processing negativity‘ (Verarbeitungsnegativität) bezeichnet werden?

Risto Näätänen und Mitarbeiter haben 1978 von einer langsam ansteigenden Negativierung über dem Vertex (Cz) und beiden Temporallappen berichtet. Sie wurde von ihnen ‚Verarbeitungsnegativität‘ (processing negativity) genannt. Die Potentialform stimmt in ihrer Gestalt (waveshape) mit der in diesem Versuch beobachteten negativen Spannungsverschiebung überein,² dennoch gibt es wesentliche Unterschiede:

- a) Im ‚oddball Paradigma‘ dieser Arbeit wird eine einheitliche Schallquelle für beide Ohren verwendet, man geht also von einer normalen diotischen (binauralen) Darbietungsweise der Tonreize aus.³

¹ vgl. S. 20.

² vgl. Näätänen *Attention and Brain Function*, 1992, S. 258f.

³ vgl. Hornbostel ‚Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören‘, S. 65ff.

Näätänen's „processing negativity“ setzt hingegen eine *dichotische* Reizung¹ voraus, mit der selektive Aufmerksamkeitsvorgänge - speziell: die frühe Phase der Reizselektion bei der Verarbeitung akustischer Stimuli - untersucht werden sollten: Die Höraufgabe bestand darin, bei Simultan-Beschallung mit *verschiedenen* Reizen jeweils *einen* „channel“ mit Tonfolgen zu beachten bzw. zu ignorieren².

- b) Beide Potentialformen - „negative shift“ und Näätänen's „processing negativity“ - weisen Unterschiede in den Latenzzeiten auf: Die Negativierung der vorliegenden Untersuchung setzt 330 msec nach dem „stimulus onset“ ein und hat im zweiten Latenzfenster (430 msec bis 540 msec) ihr lokales Maximum. Näätänen's „processing negativity“³ prägt sich dagegen schon im Zeitraum von 50 msec bis 200 msec nach Reizbeginn aus.

Ungleiche Latenzangaben und Versuchsdesigns (oddball-Paradigma vs. dichotic listening-task) lassen für die beobachtete negative Potentialverschiebung den Gebrauch des Terminus „processing negativity/Verarbeitungsnegativität“ im Näätänen'schen Sinne nicht sinnvoll erscheinen.

2. Sollte der Begriff „N400-Komponente“ auf die negative Potentialverschiebung angewendet werden?⁴

Die von Kutas und Hillyard entdeckte N400-Welle hat ihr Amplitudenmaximum etwa 400 msec nach Reizbeginn. Sie entspricht in ihrem Latenzverhalten (und ihrer Polarität) also dem „negative shift“ dieses „cross-cultural-ERP-Versuchs“.

Die Art des verwendeten Stimulusmaterials schließt dennoch aus, Parallelen zwischen beiden Potentialformen zu ziehen: Für die Ausprägung einer N400-Komponente ist ein ausschließlich **lexikalischer** Kontext die notwendige Voraussetzung; Konstruktionen mit semantisch ungeeigneten Wörtern am Satzende sowie falsche Konjugationen, die mit

¹ „getrenntohrig: Art der Reizung: rechts und links verschieden“ in E. M. v. Hornbostel „Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören“, S. 66f.

² 10% der Tonreize im „Aufmerksamkeits-Kanal“ hatten eine höhere Frequenz als die übrigen 90% und waren von den Vpn als „targets“ zu zählen.

³ häufig als „Differenzkurve“ abgebildet und quantitativ erfaßt („The use of difference waveforms is now generally accepted as a method to demonstrate the occurrence of endogenous components; for example, PN and N2, which are often difficult to detect in raw waveforms. Some waves (...MMN) are even defined in terms of a difference waveform.“ (A.W.K. Gaillard „Problems and paradigms in ERP research“, S. 99)).

⁴ Die N4-Komponente sowie die nachfolgend beschriebenen Wellenformen sind auf den Seiten 31ff ausführlicher dargestellt.

Worterkennungs-Prozessen bzw. Verletzungen der grammatikalischen Erwartung¹ verbunden sind, lösen eine N4-Komponente aus. Sie gilt allgemein als ‚index of semantic expectancy‘.² Ein möglicher Analogieschluß in bezug auf den vorliegenden Sachverhalt (‚negative shift‘ in einem *nicht-lexikalischen* Kontext) ist demnach unzulässig.

3. ‚Negative shift‘ und DC-Potential im Vergleich:

DC-Potentiale werden von Eckart Altenmüller als ‚aufgabenbegleitende langsame Potentiale‘³ definiert. Es sind negative Spannungsverschiebungen von zumeist mehreren Sekunden Dauer, die sich *während* ‚jede[r], über mehrere Sekunden anhaltende[n] geistige[n] Tätigkeit‘⁴ bzw. jeder aufgabenbedingten mentalen Anforderung ausprägen. Aufgrund der kombinierten Aufgabenstellung (Zählen und Struktur-Erkennen) sind DC-Spannungskurven auch in diesem Versuch als Potentialform denkbar.

Zwei Gründe sprechen dagegen, den vorliegenden ‚negative shift‘ als DC-Potential zu bezeichnen. Die Argumente lauten:

1. Für die Aufzeichnung von DC-Potentialen ist der Einsatz von Gleichspannungsverstärkern (Zeitkonstante: ∞) bzw. von herkömmlichen Wechselspannungs-Verstärkern mit einer Zeitkonstanten von 5 sec. bis 10 sec. erforderlich. In sämtlichen fünf Blockanordnungen *dieses* Versuchs wurde eine Zeitkonstante von 0,3 sec verwendet, da sich mit dem vorhandenen equipment kein größerer Zeitwert zur Regelung der unteren Grenzfrequenz des Wechselspannungssystems einstellen ließ.⁵ Die Ableitung von Gleichspannungspotentialen war somit aus technischen Gründen von vorneherein ausgeschlossen.
2. Die zur Diskussion stehenden Potentialverschiebungen weichen in bezug auf die Latenzzeit voneinander ab: Der in diesem Experiment gemessene ‚negative shift‘ setzt nach 330 msec ein und hat seinen Gipfelpunkt im Zeitintervall von 430 msec bis 540 msec. DC-Potentiale entwickeln sich - im Unterschied dazu - erst bei einer Anfangslatenz von 500 msec und bilden ihr Amplitudenmaximum nach mehreren Sekunden aus.

¹ Altenmüller ‚Ereigniskorrelierte Potentiale‘ in M. Stöhr *Evozierte Potentiale*, 1996, S. 565.

² vgl. S. 32 und S. 67ff, diese Arbeit.

³ Altenmüller ‚Ereigniskorrelierte Potentiale‘ in M. Stöhr *Evozierte Potentiale*, S. 568.

⁴ loc.cit. sowie Beisteiner *Diss.* und S. 35f, diese Arbeit.

⁵ vgl. Cooper Osselton Shaw *Elektroenzephalographie*, S. 52ff.

4. Ist der Begriff ‚CNV‘ ein geeigneter Terminus für die beobachtete negative Potentialverschiebung?

Die ‚kontingente negative Variation‘ (CNV) gibt als negative Potentialverschiebung das Vorbereitungs- oder Erwartungsmoment in bezug auf einen zweiten Reiz wieder. Sie bildet sich in der Zeitspanne zwischen dem offset eines ersten und dem onset eines Folge-Stimulus aus. Eckart Altenmüller bezeichnet die Komponente als ‚antizipatorisches Potential‘¹.

Dennoch ist es aus folgenden Gründen nicht möglich, den beobachteten ‚negative shift‘ mit dem Ausdruck ‚CNV‘ zu belegen:

1. Die Ausprägung der CNV setzt ein spezielles Versuchsdesign voraus, das sich grundlegend vom ‚oddball Paradigma‘ dieses Experiments unterscheidet: Für CNV-Studien ist das Festlegen und Einhalten der Reihenfolge ‚Warnreiz (S1) - Interstimulusintervall (ISI) - Imperativer Reiz (S2)‘ obligatorisch; der imperative Reiz seinerseits hat Triggerfunktion in Hinblick auf eine nachfolgende motorische Reaktion, eine nachfolgende Entscheidung oder Wahrnehmungsleistung (dazu S. 33f).
2. Das Standard-Paradigma zur CNV ist ausschließlich auf die Präsentation von Stimulus-Paaren (Warnreiz - Imperativer Reiz) zugeschnitten; die Versuchsanordnung dieser Arbeit setzt dagegen Reiz-Folgen (Tonleitern, Achtton-Sequenzen) ein.

Wäre innerhalb einer Folge von Tonleitertönen tatsächlich mit einer Ausprägung von möglichen CNVs zu rechnen, so müßte von einer Doppelfunktion (Ambivalenz) der Leitertöne als imperativer Reiz (bezogen auf den Leiterton zuvor) und als Warnreiz (mit Blick auf den Skalenton danach) ausgegangen werden.

NB: Es entzieht sich meiner Kenntnis, ob überhaupt einmal eine Untersuchung zum CNV-Verhalten bei Stimulus-Sequenzen durchgeführt worden ist, welche zum Vergleich hätte herangezogen werden können.²

¹ Altenmüller ‚Ereigniskorrelierte Potentiale‘ in M. Stöhr *Evozierte Potentiale*, S. 567 .

² vgl. dazu auch die Schlußbemerkung von Joseph J. Tecce: ‚A satisfactory understanding of CNV requires further elucidation of its relationship to background EEG and evoked potentials to S1 [Warnreiz] , S2 [imperativer Reiz] and stimuli interpolated within the S1-S2 interval (nicht kursiv im Original).‘ in *Psychological Bulletin* 77, 1972, S. 103.

3. Ferner stimmen die Gestaltungsformen („waveshapes“) und Anfangslatenzen („onsets“) von negativer Potentialverschiebung und CNV nicht miteinander überein (Anfangslatenzwerte im Vergleich: 330 msec für die Negativierung, sowie 500 msec für die CNV).

Resümee:

Es wurde eine Kurz-Charakteristik von vier herkömmlichen Potentialformen gegeben, um den in diesem Experiment gemessenen „negative shift“ in geeigneter Weise zu klassifizieren.

Keine der gegebenen Beschreibungen traf vollständig auf die einzuordnende Negativierung zu. Da mit der Verwendung von heptatonischen Skalen (*Stimulus-Sequenzen*) aus Sicht der ERP-Forschung unübliches Tonmaterial vorlag, welches nicht nur Kontext-Funktion hatte,¹ sondern selbst Gegenstand der Untersuchung war, muß es erlaubt sein, die hierdurch ausgelöste negative Potentialverschiebung im Zeitintervall von 430 msec bis 540 msec auch auf unkonventionelle Weise zu bezeichnen:

Für den einzuordnenden „negative shift“ habe ich deshalb den Terminus **„Verarbeitungsnegativität“** gewählt.

Der Begriff soll unabhängig von Näätänsens „processing negativity“ und seiner „dichotic-listening-Aufgabe“ gelten. Er soll vielmehr den Grad des aktuellen Verarbeitungsaufwandes von Standard- und Deviant-Tönen mit gleicher Nummerierung aber von verschiedener Frequenz wiedergeben (ausführlich S. 241ff).

¹ vgl. Besson/Macar „An event-related potential study of incongruity ...“, 1987.

5. Anmerkungen zur Struktur der P300: ‚Klassische Komponente‘ oder ‚late positive complex‘ (LPC)¹ ?

Um ein ‚Wellental‘ oder einen ‚Wellenberg‘ im ERP-Verlauf als ‚Komponente‘ deklarieren zu können, sind ganz allgemein vier Kenngrößen erforderlich: die Polarität, die Maximalamplitude, die Gipfellatenz sowie die ‚Topographie‘ auf der Schädeloberfläche (Angabe der Elektrodenposition).²

So wurde der tiefste lokale Extrempunkt im Zeitintervall von 270 msec bis 430 msec in Kapitel 5, dem Ergebnisteil dieser Arbeit, dann als eine P300-Komponente bezeichnet, wenn er zusätzlich das ‚waveshape‘-Kriterium erfüllte.

Dennoch sollte der ‚Komponenten‘-Begriff in bezug auf diese Positivierung nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden, da er zugleich mit der Strukturproblematik der P300 in Zusammenhang steht.

So wurde die ereigniskorrelierte Positivierung als „einheitliches Phänomen“³ von dem Psychologen und Neurophysiologen Frank Rösler in Frage gestellt, d.h. als „eine, in sich homogene positive Auslenkung im EEG [angezweifelt], die im parieto-centralen Kortextbereich mit einer Latenz zwischen 300 und 800 msec nach aufgabenrelevanten Ereignissen gipfelt.“⁴

Rösler hält den alternativen Standpunkt anderer Wissenschaftler dagegen:

Diese gehen von einer *mehrgipfeligen* Struktur der P300 mit partiell voneinander abhängigen Teilkomponenten aus; sie bewerten die P300 daher als ‚late positive complex‘ (LPC), der aus den Teilgipfeln bzw. Subkomponenten P3a, P3b und SW (slow wave)⁵ besteht.

Die vorliegende Arbeit hält dennoch an der Eingipfeligkeit der ereigniskorrelierten Positivierung fest. Die klassische P300-Komponente entspricht - bei Zugrundelegung der LPC-Sichtweise - dabei dem Teilgipfel P3b.

¹ Lutzenberger *Das EEG*, S. 15.

² ebd., S. 130f und S.17ff, diese Arbeit.

³ Rösler *Hirnelektrische Korrelate*, S. 256.

⁴ loc.cit., unterstrichen im Original.

⁵ Terminus nicht sinnverwandt mit ‚slow wave‘, dem Synonym für den DC-shift und andere Langsame Potentiale.

Eine zusätzliche Differenzierung der beobachteten ereigniskorrelierten Positivierung wäre ohnehin nicht sinnvoll, da die weiteren Teilkomponenten des LPC - P3a und SW - aus dem Kurvenbild nicht ersichtlich waren.¹

¹ Damit ein positiver peak als P3a hätte deklariert werden können, wären a) eine frühe Gipfellatenz (im Bereich von 220 msec bis 280 msec) sowie b) ein fronto-zentrales Amplitudenmaximum die notwendige Voraussetzung gewesen. (vgl. Altenmüller „Ereigniskorrelierte Potentiale“ in M. Stöhr *Evozierte Potentiale*, S. 570; Squires et al. „Two varieties of long-latency positive waves“, 1975, S. 390 sowie Fabiani et al. „Definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component“, S. 67ff). De facto bildete sich ein positiver lokaler Extrempunkt erst im Zeitfenster von 270 msec bis 430 msec aus, auch ein fronto-zentrales Maximum konnte den Spannungsverläufen nicht entnommen werden.

In bezug auf die Ausprägung des dritten Teilgipfels ‚slow wave‘ hätten die Kriterien ‚Amplitudenmaximum im späten Zeitintervall‘ (600 msec bis 1000 msec) sowie ‚Polaritätsumkehr‘ (positiv: an Pz, negativ: an Fz und Cz) und ‚Begrenzung auf selten präsentierte (= deviante) Stimuli‘ erfüllt sein müssen. Im zweiten Latenzbereich des vorliegenden Versuchs konnte die Entstehung einer möglichen slow wave mit entsprechender Anfangslatenz und Polaritätsumkehr jedoch bei keinem der devianten Skalentöne festgestellt werden.

6.2. Deutung der einzelnen ERP-Ergebnisse gesondert für jede Skalenstufe (Block 1 bis Block 5)

Im folgenden Interpretationsabschnitt sollen für die im Latenzbereich 1 und 2 beobachteten elektrophysiologischen Reaktionen Erklärungen gefunden werden.

Es werden *Basisvorgänge der Informationsverarbeitung* dargestellt, auf welche die bioelektrischen Indikatoren dieser Untersuchung - ‚P300-Komponente‘ und ‚Negativierung‘ - meiner Auffassung nach hinweisen; ferner habe ich *Sachverhalte der ERP-Literatur* wiedergegeben, die mit den Ergebnissen dieser Explorativ-Studie übereinstimmen. Überdies werden Zusammenhänge zwischen ERP-Formen und Wahrnehmungsvorgängen aufgezeigt, die sich auf den Faktor ‚Kultur‘ zurückführen lassen - auf die musikalische Herkunft der Probanden und ihren gewohnten Umgang mit den jeweiligen Skalen und Tonsystemen.

Das vorliegende Kapitel versteht sich als Deutungsversuch der Verfasserin. Er entspricht in seinem Aufbau dem Ergebnisteil.

Fachbegriffe werden für den Skalenblock 1 ausführlich erläutert und für die Versuchsanordnungen 2 bis 5 unkommentiert herangezogen, um ein möglicherweise analoges Kurvenverhalten erklären zu können.

Für die Interpretation der elektrophysiologischen Ergebnisse an den acht Tonorten einer Tonleiter soll folgende Voraussetzung in bezug auf das Kurzzeitgedächtnis gelten: Jeder aktuell perzipierte Ton eines einzelnen Skalendurchgangs (trial) stellt einen Eingangsreiz (‚incoming stimulus‘) dar. Er wird - der Funktionsweise des Arbeitsgedächtnisses entsprechend - mit dem ‚internen Bild‘¹, d.h. mit der mentalen Repräsentation der Standard- und Deviant-Tonhöheninformation verglichen, die bei einem Gesamtdurchlauf von pro Block 45 Standard- und 15 Deviant-Leitern im Kurzzeitgedächtnis vorübergehend abgespeichert ist.²

¹ R. Verleger Diss., 1986, S. 41.

² Zur Beschaffenheit des Kurzzeitgedächtnisses geben E. Hantz et al. folgende zwei Definitionen: „... ‘working memory’, that is, the subsystem of memory that acts as a temporary buffer, allowing the evaluation and use (or rejection) of current sensory information“ sowie: „... working memory, the part of the memory system that transfers current sensory information from short-term to long-term memory and conversely compares long-term memories with incoming information.“ (*Music Perception 10* und *15*, S. 26 und S. 71).

6.2.1. Block 1: Dur-Standard- versus Thai-Deviant-Skala

Ton 1:

Die P3-Komponente wurde situationsbedingt ausgelöst. Sie gibt die allgemeine Ein- bzw. Umstellung der Probanden auf das Versuchsdesign und seine Umsetzung wieder, deren spezifische Darbietungsform (Laboruntersuchung; Wiederholung synthetisch generierter Stimulussequenzen (Tonleitern)) vor allem für die türkischen und indischen Musiker unüblich war. Die P300 ist damit ein Indikator der ‚Orientierungsreaktion‘ (OR).¹

Ein solcher P3-‚peak‘ war für die ersten Stan-/Dev-Töne der nachfolgenden Blöcke 2 bis 5 aufgrund von Habituation² nicht mehr zu beobachten. Die Annahme eines ‚P3-OR-Zusammenhangs‘ wird durch ein Zitat des Neurophysiologen Emanuel Donchin gestützt. Er schreibt in anderem Kontext: „It is common laboratory folklore that the very first stimuli presented in any series elicit a P300, whether they are frequent, rare, relevant or irrelevant. Does this mean that P300 is a ‚component‘ of the orienting reflex? Yes and no The OR is thought to result from a mismatch between external events and the schema [neuronal model].“³

Ton 2:

Die negativen Potentialverschiebungen an Fz, Cz und Pz sind Ausdruck des (großen) kognitiven Verarbeitungsaufwandes, der nach der sensorischen Wahrnehmung des zweiten Thai- bzw. Dur-Tons entsteht. Nicht die Negativierung an sich ist hierbei als isoliertes Phänomen zu betrachten. Wichtig ist vielmehr die relationale Verknüpfung, das In-Beziehung-Setzen von Dur- und Thai-Spannungskurve; Ausgangspunkt der Interpretation ist somit die Amplitudendifferenz zwischen dem Thai- und dem Dur-Potential im Latenzbereich 2. In dieser Amplitudendifferenz bilden sich meiner Ansicht nach zwei kognitive Vorgänge ab: a) ein erstes Erkennen bzw. Klassifizieren der jeweiligen Skalenstruktur - so, wie es in der Notations- und

¹ vgl. Fußnote 2, S. 22.

² Fußnote 1, S. 23.

³ Donchin ‚Surprise ...‘, S. 507.

Benennungsaufgabe gefordert war. Und b) der Prozeß der ‚Intervallgrößen‘-Bewertung¹ (interval size judgement) auf der Basis der sog. ‚categorical perception‘.

In Ergänzung zu den Ausführungen auf S. 117 wird das grundlegende Hörkonzept ‚categorical perception‘ noch einmal allgemein dargestellt:

Tonhöhenverarbeitungs-Vorgänge von Berufsmusikern lassen sich mit Hilfe des Hörprinzips der ‚kategorialen Wahrnehmung‘ erklären. Stephen Handel vermutet, daß „... categorical perception represents a strategy for unpredictable and difficult perception“.² Der ‚Kategorien‘-Begriff an sich hat seinen Ursprung in der philosophischen Disziplin, ihr Vertreter Edmund Husserl grenzt den Terminus ‚kategoriale Wahrnehmung‘ deutlich von der sensorischen Wahrnehmung ab.

A. Schneider gibt dazu folgende Erläuterungen: „... according to Husserl, categorical perception (as different from sensory perception) is directed not to real, but to ideal objects, and involves intentional acts, abstraction from perceptual data, constitution of ‚higher‘ objects, mental representation, and awareness of specific features and qualities of objects thus recognized ... In such an approach a category is not merely a drawer to sort things in, but rather corresponds to a configuration of elements and features which constitute a specific quality in the subject who consciously perceives. Categorical perception in music, to be sure, thus is based on, and permanently involves, judgement functions since it is tonal relations and musical textures which have to be analyzed and comprehended by the ‚expert‘ listener.“³ Weiter heißt es bei A. Schneider, nun in einem allgemein-theoretischen Sinn: „According to the theory of categorical perception ... successive stimuli taken from a physical continuum such as tone frequencies are perceived as members of certain categories rather than elements of a continuum ... Thus, the potential continuum of physical stimuli is not paralleled by a psychological continuum ... yet by a series of classes or ‚categories‘.“⁴ Jede dieser Wahrnehmungskategorien (‚perceptual categories‘) sei als ‚Bandpaß‘ mit a) einer ‚Mittelfrequenz‘, b) einer bestimmten Klangbreite (‚tonal zone‘, Klassenbreite) sowie c) scharfen ‚category boundaries‘ zu verstehen.⁵

Nach herkömmlicher Auffassung kann bei deutschen Berufsmusikern, die auf Instrumenten mit invariablen Tonabständen üben (z.B. Pianisten), eine kategoriale Klangbreite von pro Halbtonschritt ± 50 Cents um die exakte Grundfrequenz angenommen werden⁶; somit ist eine deutliche Tonhöhen-Unterscheidung im sensorischen Sinn (pitch discrimination) verbunden mit einem bewußten Erkennen

¹ ein Vorgang im Kurzzeitgedächtnis, bezogen auf jeweils *eine* Tonstufe, den man sich als einen Vergleich der relativen Tonhöhe des devianten Reizes gegenüber derjenigen des Standard-Reizes als Bezugspunkt vorzustellen hat.

² St. Handel *Listening*, 1989, S. 283.

³ A. Schneider ‚Tone system ...‘, S. 231f.

⁴ ebd., S. 226.

⁵ vgl. A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, S. 460f sowie ‚On categorical perception of pitch ...‘, S. 252f.

⁶ zu diesem Aspekt äußert sich A. Schneider allerdings kritisch. Er schreibt (‚On categorical perception‘, S. 257): „... the conventional view of CP [categorical perception] of pitch which tends to identify ‘pitch categories‘ with the twelve black and white keys of the piano keyboard, needs some revision.“ Weiterhin (‚Über Stimmung und Intonation‘, S. 30): „[Es] soll angemerkt werden, daß nach allen bisherigen Befunden bei musikalisch relevanten Stimuli die Breite der ‚Kategorien‘ keineswegs gleich ist ... Diese auch sonst wohlbekannte Tatsache gilt vor allem mit Bezug auf die ‚Ankerpunkte‘ von Skalen, vor allem für die Quarte und die Quinte einer chromatischen Tonleiter. Demnach trifft die Vorstellung, die ‚kategoriale Wahrnehmung‘ in der Musik erfolge analog zu den zwölf Tasten des Klaviers und mittels zwölf praktisch gleichberechtigter, gleich großer Tonhöhenklassen, durchaus nicht zu. Auch läßt sich empirisch belegen, daß unterschiedliche Stimmungen, die akustisch alle innerhalb der Klassengrenzen des zwölfstimmig-temperierten ‚Kategoriensystems‘ bleiben (bei diesem ist die Klassenbreite pro Ton bzw. Tonstufe theoretisch ± 50 Cents um die exakte Grundfrequenz eines jeden Halbtons), zu deutlich unterschiedlichen Bewertungen in perzeptorischer und ästhetischer Hinsicht führen.“

bzw. Bewerten dieses Tonhöhereindrucks (pitch identification) erst für Intervallgrößen von einem Viertelton garantiert. Für indische und türkische Berufsmusiker sind schmalere „gezogene“ Kategoriengrenzen mit einem „cut off point“ von (umgerechnet) *unter* 50 Cents anzunehmen, da in ihrer Musizierpraxis im Vergleich zur europäischen gleichmäßigen Temperierung eine Teilung der Oktave in feiner gestufte Grundeinheiten als der temperierte Halbton Anwendung findet (Materialtonleiter Inder: 22 srutis, Türken: 24 Tonschritte).¹ „In these music idioms [Indian, Arabian, or Turkish music genres] categories do exist which are different from „western“ concepts, intervals and tone distances which are smaller than a tempered semitone play a role both in theory, and in practice (e.g., Indian *sruti*).“²

Geht man nun von der Annahme aus, daß die *Amplitudendifferenz* zwischen dem Thai- und dem Dur-Potential im zweiten Latenzbereich die Funktion eines *elektrophysiologischen Indikators in bezug auf „categorical perception“* erfüllt, so lassen sich die für alle drei Kulturen a priori zugrunde gelegten Klangbreiten elektrophysiologisch anhand der Stan-/Dev-Kurven bestätigen: Türken und Inder zeigen schon bei einem Frequenzunterschied von (umgerechnet) 28,6 Cents zwischen dem zweiten Dur- und dem zweiten Thai-Ton einen deutlichen Amplitudenabstand (vgl. Abb. 51, 52 und 53). Das deutet auf die Verarbeitung des Thai- und des Dur-Vergleichs-Reizes in zwei gesonderten Wahrnehmungskategorien (Tonhöhenklassen)³ hin.

Für deutsche Probanden ist die Differenz von 28,6 Cents offensichtlich zu gering, um mental zwei separate „perceptual categories“ in Anspruch zu nehmen .

Sie werden den Thai- und den Dur-Tonhöhereindruck nach dem Prinzip des „Zurechthörens“⁴ vermutlich in *einer* „category“ verarbeiten, im Kurvenbild ist daher ein erheblich geringerer Amplitudenunterschied zu erkennen (vgl. Abb. 50).

¹ vgl. A. Danielou *Einführung in die indische Musik*, S. 36; Jairazbhoy *The rags of North Indian music*, S. 35 sowie K. Signell *Makam: modal practice*, S. 26.

² A. Schneider „Tone system ...“, S. 230.

³ Beide Bezeichnungen sind im strengen Sinne nicht synonym zu verwenden. Der Begriff der „Wahrnehmungskategorie“ ist der Apperzeptionsebene zuzuordnen; der Terminus „Tonhöhenklasse“ hingegen „akustisch-perzeptorisch“ zu sehen, vgl. A. Schneider *Tonhöhe, Skala, Klang*, 1997, S. 324 und 458.

⁴ dazu Fußnote 1, S. 171.

Kurzfassung und induktive Verallgemeinerung:

Die Amplituden-*Differenz* zwischen dem Standard- und Deviant-Potential in Latenzbereich 2 wird für Ton 2 und nachfolgende Skalentöne als *bioelektrischer Indikator der ‚kategorialen Tonhöhenwahrnehmung‘ (categorical perception)* aufgefasst

Diese Interpretation soll auch für vergleichbare negative Potentialverschiebungen in den Versuchsblöcken 2 bis 5 gelten.¹

Deutsche Probanden verarbeiten Stan-/Dev-, Intervall-„abstände“ von 28,6 Cents kognitiv vermutlich in einer Wahrnehmungskategorie; zwischen den Meßpunkten ihrer Thai- und Dur-Negativierungen ist deshalb nur ein geringer Amplitudenabstand zu beobachten. Für türkische und indische Versuchsteilnehmer werden die a priori angenommenen ‚perceptual categories‘ mit kleinerer Klangbreite bestätigt: Der große Amplitudenunterschied in ihren Dur- und Thai-Potentialverläufen ist Ausdruck für eine kognitive Zuordnung beider Tonreize zu zwei verschiedenen, enger begrenzten Wahrnehmungskategorien.

¹ Es ist darauf hinzuweisen, daß in der ERP-Literatur auch die Gipfel*latenz* der P3-Welle sowie die sog. N2c-Variante der N2-Komponente (synonym: ‚classification N2‘) als bioelektrische Indikatoren des Kategorisierungsvorgangs in Betracht gezogen werden. Zur P3-Latenz schreibt E. Donchin: „There is strong evidence that the latency of P300 is proportional to the time required for *stimulus categorization*.“ (E. Donchin, *Psychophysiology* 18, 1981, S. 500) Ähnliches merkt W. Pritchard an: „Donchin and his colleagues suggested that P300 latency reflects ‘*stimulus evaluation time*‘ in the sense that identification and evaluation of the subjective probability of a stimulus must be completed before P300 is observed. ... It was found that P300 latency varies as a function of the *discriminability* of the relevant stimulus in a counting task.“ (W. S. Pritchard, *Psychological Bulletin* 89, 1981, S. 530).

Zur Funktion der N2c ist bei R. Näätänen und T.W. Picton zu lesen: „Its latency and duration ... suggest that it is ...an online reflection of a *cerebral classification process*. (in: R. Näätänen/ T.W. Picton, *Cerebral Psychophysiology* ... 1986, S. 171f; im Original jeweils nicht kursiv). In gleicher Weise heißt es bei M. Besson und F. Faita: „... the N200 component, typically reflecting categorical mismatch.“ (M. Besson /F. Faita, *J. of Exp. Psychology* 21, 1995, S. 1293).

Ton 3:

Auch deutsche Versuchsteilnehmer bilden dieses Mal eine große Amplitudendifferenz zwischen dem Dur- und dem Thai-Potential im zweiten Latenzbereich aus, so ist für *jede* der drei Kulturgruppen eine Verarbeitung der Tonhöheninformation in zwei verschiedenen Wahrnehmungskategorien anzunehmen. Die Beobachtung läßt sich vom Frequenzabstand zwischen dem dritten Dur- und dem dritten Thai-Ton her erklären: Er beträgt (umgerechnet) 57,2 Cents und geht damit über den ‚Radius‘ von einem Viertelton hinaus - der angenommenen Kategoriengrenze also, oberhalb derer für *deutsche* tasteninstrument-spielende Berufsmusiker erst eine eindeutige sensorische Tonhöhenunterscheidung möglich ist (vgl. S. 242).

Darüber hinaus ist für alle drei Probandengruppen ein überraschend geringer P3-Amplitudenwert als Reaktion auf den devianten Thai-Ton (Abb. 54, *Latenzbereich 1*) zu beobachten.

a) Bei deutschen Musikern sind daraus Rückschlüsse über den Stellenwert des *Standard*-Reizes zu ziehen: Dur-Ton Nummer 3 - das ‚terzkonstituierende‘ Element im westlichen Dur-Moll-System - scheint als kognitiver Ankerpunkt („cognitive reference point“¹) bei der Skalen-Wahrnehmung für sie weitaus weniger relevant zu sein als allgemein angenommen. Nur so ist es zu erklären, warum deutsche Probanden auf eine Dur-Ton-*Abweichung* in Form des dritten Thai-Tons trotz der hinreichend großen Frequenzdifferenz von (umgerechnet) 57,2 Cents mit einem P3-‚peak‘ von nur geringer Amplitude - als einem Ausdruck von nur mäßiger ‚Überraschung‘ - reagieren. Von einer Generalisierung dieser Interpretation wird dennoch abgeraten, da das betreffende ERP-Ergebnis anhand einer nur kleinen Stichprobengröße gewonnen wurde.

b) Sucht man nach einer Erklärung für die P3-Ausprägung der *türkischen* Probanden, so sollte der Einfluß möglicher Akkulturations-Prozesse berücksichtigt werden: Alle fünf Musiker hatten ihren Wohnsitz zum Zeitpunkt der Messung seit mehr als neun Jahren in Deutschland (S. 135f),

¹ Der Begriff ist dem gleichnamigen Aufsatz von Eleanor Rosch entnommen (E. Rosch, *Cognitive Psychology* 7, 1975). Er wird dort jedoch im Zusammenhang mit kategorialer Wahrnehmung verwendet und als Prototyp innerhalb von „natural categories such as colors, lines and numbers“ definiert (S. 544). E. Rosch merkt dazu an: „...the best examples of a category can serve as *reference points* in relation to which other category members are judged (ebd., S. 545; nicht kursiv im Original).

folglich kann bei jedem von ihnen die Internalisierung der Dur-Tonleiter bzw. deren ‚Einschmelzung‘ in den bereits vorhandenen Skalenvorrat vorausgesetzt werden.¹ Dur-Ton 3 löst daher nur einen kleinen Spannungswert in der Summenkurve² aus, und der Thai-Reiz wird *in Relation zum dritten Ton der (akkulturierten) Dur-Tonleiter* wahrgenommen.³

Aufgrund ihres differenzierten eigenen Tonsystems hat der deviante Thai-Ton für türkische Musiker selbst keinen ‚Überraschungswert‘ und geht deshalb nur mit einer geringen P3-Amplitude einher.

c) Bei *indischen* Versuchsteilnehmern konnten Akkulturations-Prozesse wegen ihres nur kurzen Aufenthalts in der Bundesrepublik Deutschland ausgeschlossen werden.⁴ Aufgrund der strukturellen Übereinstimmung mit dem nordindischen ‚that Bilaval‘ kann die Dur-Tonleiter dennoch als ein den indischen Probanden vertrautes Skalenmaterial gelten. Auch hier stellt sich meiner Ansicht nach die Frage, welche *Funktion* dem zur Diskussion stehenden dritten *Dur-Ton* zukommen könnte:

Der indischen Musiktheorie entsprechend ließe sich Dur-Ton 3 in Analogie zum dritten Ton des ‚that Bilaval‘ als sogenannter ‚vâdi‘⁵ interpretieren, d.h. als ein wichtiger, von der Tonika verschiedener Zentralton im ersten Tetrachord⁶ eines rāgas. Elektrophysiologisch läßt sich die Zentralton-Funktion des dritten Standard-Dur-Tons nur indirekt, anhand des devianten dritten Thai-Tons, also durch eine Tonhöhen-*Abweichung* vom ‚vâdi‘ belegen, die mit einem P3-peak an sämtlichen Elektrodenpositionen einhergeht.

¹ vgl. Hartfiel/Hillmann *Wörterbuch der Soziologie* Stichwort ‚Akkulturation‘, S. 14 und Fußnote 2, S. 125.

² Die Strukturgleichheit zwischen der Dur-Tonleiter und dem erlernten, aber wenig gebräuchlichen makam Çargâh kann als Faktum wohl unberücksichtigt bleiben; K. Signell zumindest schreibt „Çargâh [is] a makam not in use today“ (*Makam: modal practice*, S. 31).

³ Der ‚neutrale‘ Terz-Ton (relative Tonhöhe: 384 Cents), der in der türkischen Kunstmusik traditionell Verwendung findet (Bsp.: makam-Skala ‚Rast‘ sowie makam-Skala ‚Suzinâk‘, Signell, S. 25 und S. 34f.), sollte mental im Langzeitgedächtnis der türkischen Probanden repräsentiert sein, ist aber als Bezugspunkt in einer konkret präsentierten *Dur-Thai*-Versuchsanordnung (mit 45 präsentierten Dur-Standard-Skalen) wohl weniger wahrscheinlich.

⁴ vgl. S. 136f.

⁵ Definition vgl. Fußnote 1, S. 106.

⁶ Zum Begriff des ‚Tetrachords‘ werden von F. Hirsch bzw. H. Seeger folgende Erläuterungen gegeben: a) „Von den Saiten der Kithara abgeleitete Viertonfolge, deren feststehende Außentöne das Intervall einer fallenden reinen Quarte bilden. Das Tetrachord ist Grundlage der durch unterschiedliche Anordnung seiner beiden Innentöne gebildeten griechischen Tongeschlechter ...“; b) „Durch Aneinanderreihung von Tetrachorden waren Leiterbildungen möglich, wobei die Tetrachorde entweder verbunden (*‚konjunkt‘*, d.h.: der oberste Ton des unteren Tetrachords ist gleich dem untersten Ton des oberen Tetrachords) oder getrennt (*‚disjunkt‘*, d.h.: zwischen beiden Tetrachorden befindet sich ein Ganztonschritt) aufeinanderfolgen konnten.“ F. Hirsch *Musiklexikon*, S. 411 sowie H. Seeger *Musiklexikon Bd. 2*, S. 480 (nicht kursiv im Original).

Ton 4:

Aus den Kurvendarstellungen für Tonstufe 4 ist zu entnehmen, daß die Potentialformen ‚P3-Welle‘ und ‚Verarbeitungsnegativität‘ als zwei voneinander *unabhängige* endogene Komponenten aufgefaßt werden müssen, die einen jeweils anderen neurophysiologischen Entstehungsmechanismus und unterschiedliche Indikator-Funktion haben: So ist die vorhandene (Dur-Thai)-Frequenzdifferenz von (umgerechnet) *14,2 Cents* bereits ein hinlänglich großer Wert, um eine Positivierung bei deutschen, türkischen und indischen Probanden - (letztgenannte begrifflich zusammengefaßt als ‚non-westerners‘) - im Latenzbereich 1 auszulösen. Wäre hingegen im Latenzbereich 2 eine Amplitudendifferenz zwischen einer negativen Potentialverschiebung (Verarbeitungsnegativität für Thai-Ton 4) und der Dur-Spannungskurve zu beobachten gewesen, so hätte hierfür - zumindest für die Gruppe der deutschen Probanden (junge Dirigenten mit einer Klavierausbildung (Umgang mit Instrumenten von a priori feststehenden Tonhöhenklassen)) ein Durton-Thai-Ton-Intervallabstand von $> \pm 50$ *Cents* im Latenzfenster 2 gegeben sein müssen (vgl. S. 242).

Interpretation im Detail:

Die zu beobachtenden positiven Potentialformen bei Tonstufe 4 sind in bezug auf die Stan-/Dev-Gruppierung ‚reziprok‘ angeordnet: Deutsche reagieren mit einer ‚long lasting positivity‘ auf den devianten *Thai-Ton*, ‚non-westerners‘ mit einer ‚long lasting positivity‘ bzw. P3-Komponente auf den Standard-*Dur-Ton*.

Dur-Ton 4 stellt offensichtlich einen wichtigen kognitiven Bezugspunkt dar, der für *deutsche* Versuchsteilnehmer mehr Relevanz haben muß als die Dur-Terz¹ - das konstitutive Intervall eines Dur-Dreiklangs.² Daher macht sich bereits eine geringfügige Tonhöhenabweichung zwischen Thai-Ton 4 und Dur-Ton 4 (14,2 Cents) elektrophysiologisch als Positivierung mit großem Amplitudenwert bemerkbar (vgl. Abb. 55).

Geht man in diesem Zusammenhang von der Überlegung aus, daß jedem Skalenton auch ein *harmonischer Stellenwert* innewohnt, so unterstützt dieses ERP-Ergebnis eher die von Hugo Riemann entwickelte Funktionstheorie als die von G. Weber begründete Stufenlehre.

¹ hier in der Bedeutung von lat. ‚*tertia* = die dritte‘: ‚3. Stufe in diatonischer Tonfolge‘ Hirsch *Musiklexikon* Stichwort ‚Terz‘, S. 410.

² vgl. z. B. *Schülerduden Die Musik* Stichwort ‚Terz‘, S. 386.

Erstere geht von einer *hierarchischen* Verwandtschaftsordnung der Akkordverbindungen aus (Hauptharmonien ‚Tonika‘, ‚Subdominante‘ und ‚Dominante‘); letztere setzt Akkorde als *gleichberechtigte* Klangstufen ohne Bezug auf ein tonales Zentrum ein.¹

Für ‚*non-westerners*‘ ist - aus der Kenntnis der ‚homologen‘ ERP-Befunde in den Blöcken 2 bis 5 heraus - festzustellen, daß weder die ‚Präsentationsrate‘ noch der ‚Vertrautheitsgrad‘ schlüssige Kriterien sind, anhand derer das Kurvenverhalten in bezug auf den vierten Ton der Standard-Dur-Skala erklärt werden kann.

Offenbar ist es die Tatsache des vierten Skalentons *an sich*, die bei türkischen und indischen Probanden für das Auslösen derartiger Positivierungen verantwortlich ist.

Ein Quartton² hat im Tonsystem der Türken und Inder eine andere Bedeutung als im westlichen, terzgeprägten Dur-Moll-System. Er markiert als feststehender Rahmenton den Abschluß des ersten (disjunkten) Tetrachords und ist infolgedessen ein grundlegendes strukturbestimmendes Element der arabisch-türkischen makam- und der nordindischen that-Skalen.³

In der ‚long lasting positivity‘ bzw. P3-Reaktion auf Skalenton 4 manifestiert sich - nach meiner Auffassung - daher eine den türkischen und indischen Musikern eigene Hörstrategie, die sich als ‚rückwärts-gewandtes‘ kognitives Beurteilen von Viertelabschnitten (Tetrachorden) beschreiben läßt.

¹ Im Lexikon ‚Musik in Geschichte und Gegenwart‘ heißt es dazu: „Da die tonartliche Musik wesentlich harmoniebestimmt ist, sind auch die Tonleitern harmonisch ableitbar. Den *harmonischen Stellenwert eines Melodietons* im Tonartsystem kann man seinen ‚tonartlichen Charakter‘ oder ‚Toncharakter‘ nennen.“ *MGG Bd. 5*, Stichwort ‚Harmonielehre‘ Sp. 1650f (nicht kursiv im Original).

² in der Bedeutung von lat. ‚quarta‘ = die vierte [Tonstufe].

³ anschaulicher hierzu: die Notenskizze in Jairazbhoy *The rags of North Indian music* (S. 77)

Tetrachord Species

The image shows four musical staves, each representing a different tetrachord species. Above each staff, the notes are labeled with letters: Pa, Sa, Ma, Pa, Śa, Ma, Śa, Pa, Ma, Sa. Below each staff, there are drone markings and arrows indicating the sequence of notes. The species are: (a) Ascending disjunct, (b) Descending disjunct, (c) Descending conjunct, and (d) Ascending conjunct.

Jairazbhoy stellt fest: „Bhatkhande ... divides the octave into two parts, purvang, first portion, ... and uttrang, second portion ...“ (S. 43). „As we have pointed out, there are several possible ways in which the octave can be divided. With Pa as the secondary drone, it would be reasonable to think of the octave as consisting of two disjunct tetrachords, Sa-Ma and Pa-Sa - a view which seems particularly reasonable when we consider the scale as an ascending series, with the Pa as the initial of the second tetrachord. ...“ (S. 77). In bezug auf türkische Kunstmusik schreibt K. Signell: „The tetrachord/pentachord theory is a very useful and practical way of describing scales, transpositions und modulations; ...“ (*Makam: modal practice* S. 42f).

Potentialformen brauchen folglich nicht immer Reaktion auf einen wahrgenommenen *Einzelton* zu sein, zuweilen kann sich in einer P3-Komponente bzw. ‚long lasting positivity‘ auch eine übergreifende, ‚bündelnde‘ Verarbeitung von Tongruppen widerspiegeln.

Zusammenfassung:

Der vierte Leiterton, die Quarte, ist für alle drei Kulturgruppen in Versuchsanordnung 1 offenbar von größerer Relevanz als der dritte Skalenton und kann als stabiles Struktur-Element, als ‚Pfeiler‘ einer Tonleiter und als ein wichtiger kognitiver Bezugspunkt angesehen werden. Der Vorgang des Orientierens bzw. des ‚anchoring‘ ist eine grundlegende Wahrnehmungsstrategie aller Probanden an diesem Tonpunkt, dennoch gibt es kulturbedingte Varianten bei der Perzeption und der Apperzeption: Deutsche Versuchsteilnehmer berücksichtigen beim Hören offensichtlich das den Skalen inhärente Konstrukt der Funktionsharmonik;¹ Türken und Inder nehmen Tonleitern hingegen vom tetrachordischen Aufbau her wahr - ein Hörprinzip, das auch als ‚Segmentierung und Gruppierung von Schallstrukturen‘² gedeutet werden kann. Beide Formen von Hörstrategien dürften sich an den vorgegebenen strukturellen Merkmalen einer Skala ausgeprägt haben.³

¹ vgl. hierzu z.B. auch Z. Lissa („Zur Veränderlichkeit der musikalischen Apperzeption“ *Musikhören*, 1975, S. 202) „Die Melodie ist also für den Hörer von heute eine Ganzheit mit zweierlei Inhalt: dem melodischen und dem harmonischen, welcher jedoch nicht in vertikalen Werten (Akkorden), sondern horizontal realisiert wird. Jedes Intervall, jede Gruppe melodischer Intervalle fassen wir als einer harmonischen Funktion zugehörig, als deren melodische Repräsentation ...auf.“

² A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, S. 68.

³ In Ergänzung sei Hermann von Helmholtz zitiert: „So sind also zunächst die Grenztöne der beiden analogen Abteilungen der Oktave bestimmt, nämlich c-f, g-c, aber die Ausfüllung der Zwischenräume bleibt vorderhand noch willkürlich, und ist auch von den Griechen selbst in verschiedenen Perioden verschieden ... vollzogen worden, während die Einteilung der Skala in Oktaven, die der Oktave in zwei analoge Tetrachorde fast ausnahmslos vorkommt. ... die Verwandtschaft der Quinte und der durch ihre Umkehrung gegebenen Quarte mit dem Grundton ist so groß, daß sie sich in allen bekannten Musiksystemen aller Völker geltend macht. Dagegen sind betreffs der zwischen den Grenztönen des Tetrachordes einzuschaltenden Zwischentöne Schwankungen eingetreten. ...“ (H. v. Helmholtz *Lehre von den Tonempfindungen II*, Kapitel „Die Verwandtschaft der Klänge“, S. 422).

Ähnliches ist bei A. Schneider zu lesen (in „Tone system, intonation, aesthetic experience“, 1994, S. 222f): „Steps [of unequal size] often can be combined to make up ‚natural‘ intervals such as the octave, fifth, and fourth which are basic to music, and are almost universally employed. ... music cultures [of Near Eastern countries and India] typically make use of the octave, fourth and fifth as frame intervals which are stable while notes inside the basic tetrachordal structure are organized into different scales and modal patterns ... divisions of octaves, tetrachords and pentachords into smaller units, [result] in a variety of scales some of which will be found ‚similar‘ to modal structures of our own musical heritage.“

Ton 5:

Wie der Quartton, so stellt auch der Quintton¹ der Dur-Skala eine kognitiv wichtige Orientierungsmarke für die Gruppe der *deutschen* Musiker dar, so daß selbst eine durch den Thai-Vergleichston bedingte minimale Frequenzänderung von umgerechnet 14,4 Cents zu einer ‚long lasting positivity‘ führt.² Das ERP-Resultat weist damit abermals auf die funktionsharmonische Denkweise von Europäern hin, die schon für Leiterton 4 festgestellt wurde.

Indische Musiker zeigen keine vergleichbare P3-Ausprägung. Für sie ist das rückwärts gerichtete, tetrachordische Hörprinzip (evident in der elektrophysiologischen Reaktion auf Ton 4) offensichtlich von größerer Relevanz als die Wahrnehmung des Tonschrittes (Ganztons) zwischen Tonstufe 4 und 5 der Dur-Tonleiter. Ton 5 hat offensichtlich nur eine ‚Brücken-‘ bzw. ‚Übergangsfunktion‘ zwischen beiden disjunkten Tetrachorden.

Ton 6:

Indische Versuchsteilnehmer weisen Dur-Ton 6 offenbar die Rolle eines zweiten ‚Zentraltons‘³, des sogenannten ‚samvadi‘, zu. Das ist aufgrund der Strukturgleichheit von Dur-Tonleiter und der indischen Skala ‚that Bilaval‘ sowie aus den Hörgewohnheiten dieser Kulturgruppe heraus zu vermuten. Die ‚samvadi‘-Funktion des sechsten Dur-Tons leitet sich aus dem Bezug zum ersten ‚Zentralton‘, dem vadi, her; ein samvadi-Ton wird definiert als ‚a note which has a relation of fourth or fifth ... to the vadi and constitutes a musical reflection or balance to vadi.‘⁴ Die bioelektrischen Potentialverläufe bestätigen die Funktionszuweisung auf indirektem Wege: Bei der Wahrnehmung einer überraschenden Tonhöhenänderung (Thai-Ton 6) ist hier - wie im vadi-Parallelfall - eine P3-Komponente im Kurvenbild der indischen Musiker auszumachen.

¹ ‚(lat. quinta = die fünfte): die 5. Stufe in diatonischer Tonfolge‘ Hirsch *Musiklexikon* Stichwort ‚Quinte‘, S. 326.

² Hierzu gehören folgende Frequenz-Angaben: 5. Dur-Ton (Hz) - 5. Thai-Ton (Hz) = 739,99 - 734,02 = 5,97 Hz, d.i. ungefähr das Anderthalbfache der gerade merkbaren Frequenzdifferenz; sie beträgt in diesem Frequenzbereich (für einen Sinuston von ungefähr 700 Hz) etwa 4 Hz (vgl. Roederer, *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*, Skizze S. 27).

³ A. Danielou, *Einführung in die indische Musik*, S. 52.

⁴ B. Chaitanya Deva *An Introduction to Indian Music*, S. 10, kursiv im Original.

Um das ERP-Ergebnis der *deutschen* Versuchsgruppe im *zweiten Latenzbereich* erklären zu können, wurde für Skalenton 6 ebenfalls das Hörkonzept der kategorialen Wahrnehmung herangezogen. Die Potentialskizzen (an Fz und Cz) machen jedoch deutlich, daß eine eindeutige Zuordnung der Tonhöheninformation zu ein oder zwei ‚perceptual categories‘ in diesem Fall nicht möglich ist: an Fz gibt es einen monotonen Anstieg *beider* Spannungsverläufe, an Cz ist im Unterschied hierzu ein großer Amplitudenabstand zwischen dem Thai- und dem Dur-Potential zu beobachten. Dieser ungleiche bioelektrische Sachverhalt ist auf die ‚Intervall‘-Differenz von (umgerechnet) 43 Cents zwischen Dur-Ton 6 und Thai-Ton 6 zurückzuführen. Der Wert liegt etwas unterhalb des mentalen ‚cut off point‘ von 50 Cents, der für deutsche Musiker als Grenzmarke in Hinblick auf eindeutige sensorische Tonhöhenunterscheidung und -erkennung angenommen wird.

Als Erklärungsansatz für das bioelektrische Kurvenverhalten wäre denkbar, daß der Skalenzusammenhang (Kontexteffekte) zu einer Veränderung der um den sechsten Tonpunkt ‚gezogenen‘ Kategoriengrenzen führen und schmalere Klangbreiten - mit eben diesem ‚kritischen‘ Radius von 43 Cents (Ursprungswert: 50 Cents) - zur Folge haben könnte.¹

Unter psychophysiologischem Aspekt ist wohl in jedem Fall davon auszugehen, daß die verschiedenartigen Reaktionen an den Fz- und Cz-Elektrodenplazierungen durch intracraniale Ionenfluktuationen von nicht-miteinander zusammenhängenden Neuronenverbänden bzw. Generatorquellen verursacht worden sind.²

¹ A. Schneider stellt in anderem Zusammenhang fest: „It becomes quite obvious that not all ‚categories‘ have the same width [German: Klassenbreite] ...“ in: A. Schneider „Tone system, intonation, aesthetic experience“, S. 229.

² vgl. S. 5ff.

Ton 7:

Für die siebte Stufe der *Dur*-Tonleiter ist allgemein ihre Leittonfunktion charakteristisch. Dur-Ton 7 wird im musiktheoretischen Bereich allgemein als ‚note sensible‘ beschrieben, die zur Auflösung in einen ‚benachbarten, im Abstand einer kleinen Sekunde stehenden harmonisch gewichtigeren Ton (Zielton)‘¹ tendiert.

Die Auflösungs- und steigende Bewegungsrichtung des Leittons wird von Jamshed Jay Bharucha unter wahrnehmungspsychologischem Aspekt als ‚melodic anchoring ... a principle of perceptual organization‘² aufgefaßt, welches sich auf einen festen Ankerreiz (Skalenton 8) und einen instabilen, zu verankernden Stimulus (Skalenton 7) bezieht. Bharucha schreibt: ‚The unstable tone is perceived as having a dynamic character, setting up a vector pointing in the direction ... of the expected anchoring. Such tones are said to have an ‘upward leading‘ ... dynamic quality.‘³

Lag im Versuchsblock 1 ein siebter *Thai*-Ton neuronal als ‚Input‘ vor, so entsprach dieser Stimulus nicht der Leittonerwartung der *deutschen* Probanden, welche in dieser Versuchsgruppe aufgrund des erlernten, kulturbedingten Umgangs mit Dur-Moll-Skalen und ihrer Halbton-/Ganztonstruktur vorausgesetzt werden kann. Dieser Sachverhalt wird u.a. von P. Janata und H. Petsche als ‚expectancy violation‘^{4,5} beschrieben.

Die Verletzung des strukturell bedingten ‚melodic anchoring‘-Prinzips bzw. der ‚Verstoß‘ gegen das Leittondenken in Form des devianten *Thai*-Tons wurde in den ERP-Komponenten der *deutschen* Probanden durch eine P3-Komponente mit großem Amplitudenwert an Fz, Cz und Pz indiziert (vgl. Abb. 57). Das ERP-Ergebnis deutet außerdem auf eine sekundintervallbezogene, relationale Hörweise der *deutschen* Versuchspersonen und weniger auf eine

¹ Hirsch *Musiklexikon* Stichwort ‚Leitton‘, S. 225.

² J. J. Bharucha ‚Anchoring effects in music‘, S. 488.

³ ebda, S. 487. Bharucha beruft sich in seinen Ausführungen allerdings vornehmlich auf das Bezugssystem ‚Tonalität‘.

⁴ P. Janata/H. Petsche ‚Spectral analysis of the EEG ...‘ in: *Music Perception* 10, S. 284.

⁵ Darüber hinaus steht die Perzeption des siebten *Thai*-Tons im Widerspruch zum Gestaltgesetz der ‚räumlichen Nähe‘ - einem Hauptsatz der Gestaltpsychologie, der, wie die weiteren Gestaltgesetze, als Erklärungsansatz für Wahrnehmungs- und Erlebensvorgänge herangezogen wird (vgl. P. Hofstätter Fischer-Lexikon *Psychologie*, Stichwort ‚Gestalt- und Ganzheitspsychologie‘, S. 162f). Grund ist die Konstruktionsweise der äquiheptatonischen *Thai*-Tonleiter, die sich aus ‚aufeinanderfolgenden *geometrisch gleichen* Stufen‘ zusammensetzt (C. Stumpf ‚Tonsystem und Musik der Siamesen‘, S. 142ff (nicht kursiv im Original), vgl. auch Beurmann/Schneider ‚Probleme und Aufgaben akustisch-tonometrischer Forschung‘, S. 158).

punktuelle Perzeption hin - das Wahrnehmen des *Tonschrittes* zwischen Stufe 7 und 8 hatte demnach vor dem Perzipieren des siebten *Tonortes* Priorität.

Zusätzlich zu dieser musiktheoretisch/wahrnehmungspsychologisch ausgerichteten Interpretation (Thai-Ton-Präsentation = Nicht-Einlösen der Leittonerwartung) ist es denkbar, die P3-Welle der deutschen Probanden als Indikator des sog. ‚context updating‘-Vorgangs aufzufassen, der im Bereich der Psychophysiologie einen wichtigen Diskussionsgegenstand darstellt (erläutert S. 31).¹

Folgt man den Ausführungen der Neurophysiologen um E. Donchin, so wäre Thai-Ton 7 damit die auffällige Reizinformation, die zu einem context updating-Vorgang, d.h. zu einem ‚Aufbrechen‘ der erlernten, kultureigenen Dur-„Schablone“² (mit inbegriffen: Leittonigkeit bzw. ‚melodic anchoring‘) führt, bei deutschen Versuchsteilnehmern ein Umdenken notwendig macht und die beschriebene P300-Komponente auslöst.

Für ‚non-westerners‘ ist ein solcher context updating-Vorgang bei Skalenton 7 offenbar nicht erforderlich: So geht aus den Tonleiter-Beispielen in den Lehrbüchern von K. Signell und N. Jairazbhoy hervor, daß etwa die Hälfte der skizzierten makam- bzw. that-Skalen einen - dem Leitton im Dur-Moll-System entsprechenden - *Halbtonschritt* zwischen Tonstufe 7 und 8 aufweisen, während die anderen 50% der Skalenbeispiele durch einen *Ganztonschritt* zwischen Tonstufe 7 und 8 gekennzeichnet sind.³

Das elektrophysiologische Verhalten der *türkischen* Probanden stimmt mit diesen Überlegungen überein: In ihren Spannungskurven ließ sich keine P3-Reaktion beobachten, die auf einen Revisionsvorgang eines gespeicherten („overlearned“) Skalenmusters hingedeutet hätte. Leittoniges Denken bzw. dynamische, zieltonorientierte Hörstrategien sind für türkische Versuchsteilnehmer wohl nicht von primärer Bedeutung.

Indische Musiker hatten Thai-Ton 7 indessen wohl schablonenbezogen perzipiert und die Schrittgröße von 171,4 Cents zwischen Tonort 7 und Tonort 8 durchaus als Unregelmäßig-

¹ vgl. dazu den Disput zwischen den Neurowissenschaftlern R. Verleger und E. Donchin („Is the P300 component a manifestation of context updating?“) in: *Behavioral and Brain Sciences* 11, 1988, S. 343 - 427.

² Der Schablonen-Begriff wird von W. Pritchard in einem Übersichtsartikel zur P300 wie folgt definiert: „*Template* usually refers to an internal literal copy used to match incoming sensory information“ (in: W. S. Pritchard *Psychological Bulletin* 89, 1981, S. 518, kursiv im Original).

³ K. Signell *Makam: modal practice in Turkish art music*, S. 24f und 34f, N. Jairazbhoy *The rags of North Indian music*, S. 56ff.

keit gegenüber dem Durskalens-Bezugsrahmen wahrgenommen.¹ Der geringe Amplitudenabstand zwischen der (Thai)-P3-Komponente und dem dazugehörigen Dur-Potential weist allerdings auf einen nur minimalen context updating-Vorgang der Inder hin und ist möglicherweise auf die vielfältigen mental repräsentierten Skalen-Strukturvarianten zurückzuführen, die sich auch für indische Versuchspersonen aus ihrer Musizierpraxis ergeben.

Ton 8:

Beim ‚Matching-Check‘ zwischen dem achten Thai-Deviant- und dem achten Dur-Standard-Ton lag mental stets derselbe Input vor.² Damit entfiel die Möglichkeit, die beobachtete ‚long lasting positivity‘ bzw. P3-Welle der deutschen und türkischen Probanden auf einen (ungleichen) Tonabstand zwischen dem Standard- und dem Deviant-Reiz identischer Nummerierung zurückzuführen.

Um das Kurvenverhalten *sämtlicher* Versuchsteilnehmer dennoch erklären zu können, soll eine Hypothese des Neurophysiologen Rolf Verleger herangezogen werden, deren ‚psychologische Seite‘³ er in Experimenten selbst bestätigen konnte.

Verlegers Hypothese zufolge weist die P3-Komponente auf ‚den Abschluß einer kognitiven Epoche‘⁴ (abgekürzt: AKE) hin und tritt im Normalfall am Ende einer von mehreren Reizen gebildeten kognitiven Einheit auf. Diese kognitive Epoche wird von Verleger offenbar als *variables* Segment aufgefaßt, welches aus einer veränderlichen Folge von Standard-Reizen

¹ Leittöniges Denken ist indischen Musikern und Rezipienten zweifelsohne vertraut. So berichtet J. J. Bharucha, daß ‚in Indian classical music the performer teases the audience by prolonging the Indian equivalent of the leading tone (*ni*) until he or she is sure that resolution to the tonic (*sa*) will elicit exclamations of approval (*vah-vah*) from the audience.‘ in: J. J. Bharucha ‚Anchoring effects in music‘, S. 487; auf die Strukturgleichheit von Dur-Skala und der kultureigenen Tonleiter ‚that Bilaval‘ wurde bereits hingewiesen.

² Die Frequenzwerte des achten Dur- und des achten Thai-Tons unterscheiden sich in den Dezimalen voneinander, da eine Genauigkeit im Nachkommastellen-Bereich mit dem pitch fine-Regler des JD 800-Synthesizers beim Herstellen der Skalen nicht umgesetzt werden konnte (Dur-Ton 8 hatte den Wert: 987,75 Hz; Thai-Ton 8 den Wert: 987,69 Hz).

³ R. Verleger *Die P3-Komponente im EEG* Diss. Tübingen, 1986.

⁴ Der Terminus ‚closure of a cognitive epoch‘ wurde im Rahmen der P300-Forschung bereits 1979 von Desmedt und Debecker geprägt, vgl. Verleger ‚Event-related potentials and cognition‘ in: *Behavioral and Brain Sciences* 11, 1988, S. 354.

bestehen kann und von einem - die P3-Komponente auslösenden - Zielreiz („closing event“¹) begrenzt wird. Verlegers Ausführungen zufolge könnte die kognitive Epoche „im Rahmen gestaltpsychologischer Ansätze“ auch als „Gestalt in der Zeit“² (hier: als achtstufiges Tonleitergebilde) verstanden werden. In diesem Sinne interpretiert, würde die für Ton 8 beobachtete P3-Komponente bzw. ‚long lasting positivity‘ also einen ‚Patternwahrnehmungs- und -verarbeitungsvorgang‘ indizieren.

Deutsche Versuchsteilnehmer haben auf das Ende des Thai-Skalenpatterns mit einem großen Amplitudenwert reagiert; *türkische* Probanden haben nach Abschluß der Achttonsequenz nur eine kleinere P3-Amplitude ausgeprägt.

Indische Musiker hatten *keine* entsprechende Positivierung im Latenzbereich 1 gezeigt. Die fehlende P3-Komponentenreaktion ist auf die traditionelle Spielpraxis resp. ihre kultureigene Gepflogenheit zurückzuführen, Tonleitern bzw. melodische Linien eines ragas stets in der Kombination aus aufwärts- *und* abwärtsführender Bewegung (genannt: aroh und avroh, auch: arohana und avarohana) vorzutragen.³

¹ R. Verleger in: *Behavioral and Brain Sciences* 11, 1988, S. 351.

² R. Verleger *Die P3-Komponente im EEG*, Diss., 1986, S. 71.

³ Die Bewegungsform ‚arohana‘ ist definiert als ‚a series of notes in the ascending order of pitch: s r g m p d n s‘; das Gegenstück ‚avarohana‘ als ‚a series of notes in the descending order of pitch: s n d p m g r s‘ (P. Sambumorthy *South Indian Music Book 1*, S. 52). In Ergänzung dazu heißt es bei Jairazbhoy: ‚Only the terms *aroh* and *avroh* are now commonly used in the description of *ragas* and refer to the most characteristic ascending and descending lines of a *rag* whether step by step or including irregular movements‘ (Jairazbhoy *The ragsof North Indian music*, S. 38, kursiv im Original.)

6.2.2. Block 2: Dur-Standard versus Moll-Deviant

Ton 1:

Versuchssituation und die Art der Reizpräsentation waren sämtlichen Teilnehmern bekannt; eine P3-Komponente als Indikator der Orientierungssituation - ausgelöst „durch die initiale Situation oder Stimulation“¹ - konnte dem Kurvenbild nicht entnommen werden.

Ton 2:

Ton 2 der Dur-Skala und Ton 2 der harmonischen Moll-Tonleiter stimmen in sämtlichen Tonparametern überein. Deutsche, türkische und indische Versuchsteilnehmer zeigen keine elektrophysiologischen Reaktionen im Latenzbereich 1 bzw. Latenzbereich 2, die auf einen context updating-Vorgang (Korrektur von mental repräsentierter Tonleiterinformation; Indikator: P3-Komponente) oder eine Tonhöhenverarbeitung in ein oder zwei separaten Wahrnehmungskategorien (Indikator: Verarbeitungsnegativität) hätten schließen lassen.

Ton 3:

Der Terzton der Molltonleiter löst - entgegen der Erwartung - bei keiner Versuchsgruppe eine P3-Komponente aus, ‚context updating‘ war offenbar nicht erforderlich.

Es ist anzunehmen, daß die harmonische Molltonleiter zum intern im Langzeitgedächtnis gespeicherten Skalenvorrat einer jeden Kulturgruppe gehört: Deutsche Dirigentenschüler hatten die Tonleiter vermutlich in der Phase ihrer musikalischen Sozialisation erlernt, auch für türkische Probanden muß ein hoher Vertrautheitsgrad in bezug auf das harmonisch Moll angenommen werden - infolge von Akkulturation sowie der strukturellen Übereinstimmung

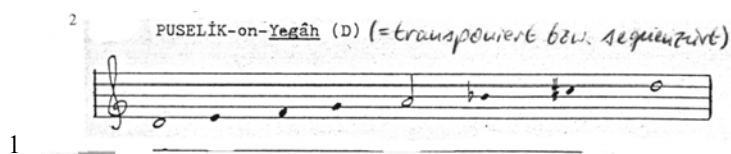
¹ Lutzenberger/ Elbert *Das EEG*, S. 68.

mit dem ‚makam Puselik‘¹. Indische Versuchspersonen müssen in ähnlicher Weise eine Strukturgleichheit zwischen dem aktuellen Reizinput (Moll-Skala) und der ‚overlearned scale‘ (that Asavri²) während der Hör- bzw. Aufzeichnungsphase festgestellt haben.

Aus dem Amplitudenabstand zwischen dem Dur-Standard- und dem Moll-Deviant-Potential *im Latenzbereich 2* konnte außerdem entnommen werden, daß für sämtliche Versuchsteilnehmer vermutlich zwei verschiedene ‚perceptual categories‘ zur Verarbeitung des Dur- und des Moll-Terztons mental zur Verfügung standen. Für non-westerners waren ‚pitch discrimination‘- und ‚pitch identification‘-Vorgänge hierbei mit einem größeren Verarbeitungsaufwand verbunden. Darauf deutet die geringere Differenz zwischen beiden Amplituden - aufgrund des simultanen Anstiegs der Dur-Spannungskurve hin.

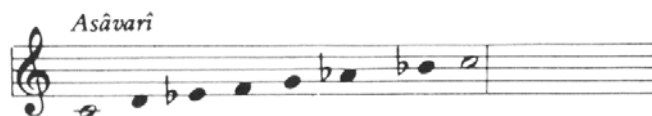
Ton 4:

Das ‚rückwärtsgewandte‘ Beurteilen disjunkter Tetrachorde bzw. die Perzeption von Viertonabschnitten ist offenbar nicht an das Vorhandensein eines Frequenzunterschieds zwischen dem Standard- und dem Deviant-Ton gleicher Nummerierung gebunden: So zeigen indische Musiker nach Abschluß des ersten Tetrachords eine P3-Welle als Reaktion auf den



² Der ‚that Asavri‘ entspricht in seinem Aufbau gänzlich der *natürlichen* Moll-Tonleiter; Unterschiede in bezug auf die *harmonische* Moll-Skala ergeben sich damit erst bei Tonstufe 7.

Der ‚that Asavri‘ in einer Notenskizze:



vierten Ton der Moll-Skala, obwohl dieser mit dem Dur-Vergleichsreiz in sämtlichen Tonparametern übereinstimmt.

Für türkische („akkulturierte“) Probanden stellt das Segmentieren und Denken in Tetrachord-Einheiten ein offensichtlich weniger stabiles Hörprinzip als für indische Versuchsteilnehmer dar, da aus ihrem Kurvenbild im Unterschied zu Block 1 diesmal keine P3-Komponente als Reaktion auf den vierten Skalenton zu entnehmen war.

Ton 5:

Positive oder negative Potentialverschiebungen waren weder im ersten noch im zweiten Zeitintervall ausfindig zu machen.

Ton 6:

Der zu beobachtende große Amplitudenunterschied zwischen der Dur- und der Moll-Spannungskurve von non-westerners *im Latenzbereich 2* ist abermals ein Indiz für kategoriale Tonhöhenwahrnehmung resp. Informationsverarbeitung in zwei verschiedenen „perceptual categories“. Türken und Inder hatten die Struktur beider Skalen an Tonstufe 6 offensichtlich eindeutig erkannt: So war der Abstand zwischen den Gipfelpunkten ihrer Stan-/Dev-Spannungskurven größer, d.h. der kognitive Verarbeitungsaufwand *geringer* als bei der Perzeption des zuvor erklungenen Dur- und Moll-Terztons.

Ton 7:

Das harmonische Moll ist - gegenüber dem musikgeschichtlich älteren *natürlichen* Moll (äolischer Modus bzw. Kirchenton) - durch die Erhöhung der siebten Stufe zum Leitton gekennzeichnet; folglich stimmen die Dur-Tonleiter (Standard-Stimulus) und die harmonische Moll-Tonleiter (Deviant-Stimulus) in der Tonhöhe bzw. ihrem dynamischen, zieltonorientierten Charakter überein.

Tonstufe 7 beider Skalen wird der Leittonerwartung der *deutschen* Musiker gerecht; eine P3-Komponente (Reaktion auf eine Tonhöhen-Abweichung) ist ihrem Kurvenbild deshalb nicht zu entnehmen.

Für das strukturelle Denken von *non-westerners* ist das Leittonprinzip ohnehin nicht von Relevanz;¹ ein context updating-Vorgang ist somit prinzipiell nicht erforderlich.

Ton 8:

Die Erwartungshaltung der *indischen* Musiker in bezug auf Skalen-Fortsetzung (in Form einer Abwärtsbewegung, genannt: ‚avarohana‘) manifestiert sich im ERP-Potential für Skalenton 8 auf zweierlei Weise: a) hier - wie in Versuchsblock 1 - fehlt die P3-Welle in Latenzbereich 1, die als Indiz für Patternwahrnehmung auf einen ‚Abschluß der kognitiven Epoche‘ hingewiesen hätte (vgl. S. 254f). Außerdem kann b) der ‚negative shift‘, der im Latenzbereich 2 für den devianten Moll-Ton zu beobachten ist, als ‚Erwartungsnegativität‘ im Sinne einer CNV interpretiert werden, auf die nach einem Zeitabstand von 2 Sekunden anstelle einer abwärtsgerichteten (‚avarohana‘) Tonfolge der erste Reiz eines neuen (‚arohana‘)-Skalendurchgangs als zweiter, imperativer Stimulus folgt.

Zum CNV-Verhalten gibt E. Altenmüller aus psychophysiologischer Sicht folgende allgemeine Erklärung:

Walter and co-workers recorded a negative-going DC-shift when a first stimulus or ‘warning stimulus‘ (S1) was followed by a second stimulus or ‘imperative stimulus‘ (S2) [*one or several seconds later*] which required a motor response. The negativity started to rise 200 to 500 msec after S1 and terminated after S2. This slow potential shift was termed by Walter et al. (1964) the ‘contingent negative variation‘ (CNV) and was believed to be related to conditioning, preparation, and *expectancy* (therefore labeled sometimes ‘*expectancy wave*’) ...; [weiter heißt es]: This response does not need to be motor and can be any type of cognitive performance, e.g., mental arithmetics.²

¹ dazu S. 253f.

² E. Altenmüller ‚Psychophysiology and EEG‘ in: E. Niedermeyer/F. Lopes da Silva *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications*, S. 607 (nicht kursiv im Original).

6.2.3. Block 3: Makam Hicaz (Standard) versus Thai-Skala (Deviant)

Ton 1:

Gewöhnung an die Versuchssituation hat die Habituation der P3-Welle zur Folge, welche in der ersten Versuchsanordnung als Indikator der sog. ‚Orientierungsreaktion‘ zu beobachten war. Auffällige ereigniskorrelierte Potentialformen sind daher weder im Latenzbereich 1 noch im Latenzbereich 2 des dritten Versuchsblocks vorhanden.

Ton 2:

Die Auswertung der ERP-Kurven für Skalenblock 3 zeigt, daß bei der Interpretation der hirnhysiologischen Ergebnisse im Sinne der ‚kategorialen Tonhöhenwahrnehmung‘ der Einfluß des Faktors ‚Stimulus-Vertrautheit‘ berücksichtigt werden sollte: So ist die Verarbeitung von *unbekanntem* Tonmaterial offenbar mit einem größeren Aufwand als die Verarbeitung von *bekanntem* Stimuli verbunden, da bei deutschen und indischen Probanden ein zweifacher Anstieg des Potentialverlaufs im Latenzbereich 2 als Reaktion auf den *unbekanntem* makam-Standard- sowie auf den *unbekanntem* Thai-Deviant-Ton zu beobachten war. Trotz des hinreichend großen Frequenzabstands von 57,4 Cents zwischen dem zweiten makam- und dem zweiten Thai-Ton wird bei einer Evaluierung von unbekanntem Reiz-Input durch deutsche und indische Musiker mental also nur eine Wahrnehmungskategorie bereitgestellt. Die für deutsche Versuchspersonen angenommene Kategoriengrenze von 50 Cents - deren Überschreiten in der Regel erst eindeutige ‚pitch discrimination‘- und ‚pitch identification‘- Vorgänge möglich macht - scheint bei einer Verarbeitung von nicht-vertrautem Stimulusmaterial also ungültig geworden zu sein.

Türkische Probanden verarbeiten den für sie *bekanntem* und den *unbekanntem* Tonhöhen Eindruck (makam-Ton 2 bzw. Thai-Ton 2) vermutlich in zwei verschiedenen Wahrnehmungskategorien; der Sachverhalt bildet sich in einem hinreichend großen Amplitudenabstand zwischen dem Standard- und dem Deviant-Potential ab.

Ton 3:

Mit den Variablen ‚Vertrautheit/Neuheit‘ (familiarity/novelty) in bezug auf Stimuli ist auch das Kurvenverhalten der Türken und Inder bei Skalenton 3 zu erklären:

Inder reagieren auf die neu präsentierten *nicht-internalisierten* Tonleiterbestandteile (übermäßiger Sekundschritt der Hicaz-¹ sowie 171,4-Cent-Tonschritt der Thai-Skala) mit einer doppelten Verarbeitungsnegativität im Latenzbereich 2; türkische Musiker ordnen den für sie als *vertraut* anzunehmenden Hicaz- sowie den *unbekannten* Thai-Tonhöhereindruck zwei verschiedenen Wahrnehmungskategorien zu (großer Amplitudenabstand zwischen beiden Spannungskurven).

Darüber hinaus ist die *P3-Komponente* im Kurvenbild der Inder als Reaktion auf den dritten Thai-Ton (Fz, Cz und Pz) - nach meiner Auffassung - folgendermaßen zu deuten: Da Tetrachord eins des makam Hicaz von der Konstruktion mit dem ersten Tetrachord des den indischen Musikern vertrauten ‚that Bhairava‘ (bzw. ‚that Khamaj‘) übereinstimmt, ist davon auszugehen, daß der dritte *makam*-Ton - in gleicher Weise wie Ton 3 (Ga) der beiden indischen Skalen - für indische Versuchsteilnehmer die Funktion des ‚vadi‘ erfüllt. Die vorhandene *Frequenzdifferenz* von 42,2 Cents zwischen dem devianten dritten Thai-Ton und dem dritten makam-Ton hat für *indische* Musiker anscheinend ein ‚updating‘ des erlernten und gespeicherten ‚that-Bhairava‘- (oder ‚that Khamaj‘)-Skalen-Modells zur Folge - der Vorgang manifestiert sich auf bioelektrischer Ebene in einer P300-Welle.

Ton 4:

Indische Musiker halten im Gegensatz zu türkischen Probanden an der Hörstrategie des rückwärtsgewandten Bewertens von Viertonsabschnitten fest und prägen auch in dieser Versuchsanordnung nach Abschluß des ersten (disjunkten) Tetrachords an Position Cz eine P3-Welle aus.

¹ 271 Cents, türkische Bezeichnung: ‚artık ikili (augmented second)‘, vgl. K. Signell *Makam: modal practice*, S. 23.

Im Latenzbereich 2 weist der Amplitudenabstand zwischen der ‚Thai-Negativierung‘ und der ‚makam-Spannungskurve‘ erneut darauf hin, daß indische Versuchsteilnehmer Tonreize bereits bei einer Frequenzdifferenz von (umgerechnet) 15,2 Cents perzeptiv deutlich voneinander unterscheiden können.

Ton 5:

Skalenton 5 stellt hier wie in Versuchsblock 1 einen wichtigen kognitiven Bezugspunkt für deutsche Probanden dar, so daß selbst eine Frequenzabweichung von nur 17,4 Cents (Thai-Deviant 5) zu einer P3-Reaktion führt. Als Bezugsreiz kommt vermutlich Ton 5 der latent vorhandenen, ‚overlearned‘ *Dur*-Schablone und weniger der konkret vorgespielte fünfte Ton der Hicaz-Standardleiter in Betracht, der für deutsche Musiker einen neuen, unbekanntem Reizinput darstellt.

Ton 6:

Perzeptions- und Apperzeptionsvorgänge werden auch in dieser Versuchsanordnung durch Kontexteffekte beeinflusst: Trotz der geringen Frequenzdifferenz von nur 26 Cents ordnen *deutsche* Berufsmusiker den makam- und den Thai-Tonhöhen Eindruck mental zwei verschiedenen ‚perceptual categories‘ zu und bilden einen großen Amplitudenabstand im Latenzbereich 2 zwischen dem Standard- und dem Deviant-Potential aus.

Der ‚cut-off-Point‘ von 50 Cents, oberhalb dessen für die speziell an Tasteninstrumenten ausgebildeten deutschen Probanden erst eine eindeutige Tonhöhenunterscheidung und -identifikation möglich war, scheint also nur für die Skalentöne des *ersten* Tetrachords zu gelten; er sollte - eben wegen jener vorhandenen Kontexteffekte - für die Skalentöne des zweiten Tetrachords neu, mit jeweils kleineren Werten neu festgelegt werden.

Ton 7:

Leittöniges Denken ist ein Hörprinzip, das nicht nur unter Auflösungs- und ‚melodic anchoring‘-Aspekten betrachtet werden kann, sondern offenbar auch auf der Rückführung von gespeicherten Wahrnehmungseindrücken aus dem Langzeitgedächtnis in das aktuelle Bewußtsein (Vorgang des sog. ‚retrieval‘; kognitionspsychologische Sicht) basiert und unabhängig vom konkret gebotenen Reizmaterial funktionieren kann: So antworten deutsche Versuchsteilnehmer mit einer P3-Komponente auf das Nicht-Erfüllen der Leittonerwartung (in Gestalt des siebten devianten Thai-Tons), obwohl der Dur-Bezugsreiz in Versuchsblock 3 (makam-Standard- versus deviante Thai-Skala) lediglich latent vorhanden war.

Für türkische Probanden ist der Sachverhalt einer *latent* wirksamen Orientierungsmarke offensichtlich nicht gegeben. Türken reagieren auf den wohl als überraschend und ungewohnt empfundenen devianten siebten Thai-Ton mit einem ‚Aufbrechen‘ bzw. ‚updating‘ der gespeicherten., jedoch konkret vorgespielten makam-Hicaz-Schablone (Frequenzdifferenz: (umgerechnet) 31,4 Cents); der Vorgang manifestiert sich in einer späten P3-Komponente.

Ton 8:

Die P3-Welle der deutschen Musiker ist - wie in Versuchsblock 1 - als Ausdruck von Patternwahrnehmung bzw. des AKE (Abschluß der kognitiven Epoche) zu werten. Die Variable ‚Vertrautheit mit dem Reizmaterial‘ nimmt darauf offenbar keinen Einfluß.

In der zeigen - vor dem Hintergrund spielpraktisch verwendeter arohana- und avarohana-Bewegungskombinationen - erwartungsgemäß keine P3-Reaktion.

6.2.4. Block 4: Dur-Skala (Standard) versus Makam Hicaz (Deviant)

Ton 1:

Besonderheiten im Spannungsverlauf des Dur- und des makam-Potentials sind nicht festzustellen.

Ton 2:

Deutsche Versuchspersonen verarbeiten den Dur- und den makam-Tonhöhereindruck mental vermutlich in zwei Wahrnehmungskategorien; das ist aus der Größe des Amplitudenabstands zwischen den Gipfelpunkten der jeweiligen Spannungskurven (an Fz, Cz und Pz) zu entnehmen.

Die negative Verschiebung des *Dur*-Potentials (vgl. Abb. 76) weist dabei auf einen Zustand gesteigerter Aufmerksamkeit hin, der sich vermutlich noch auf die komplizierteren ‚pitch discrimination‘- und Stimulusverarbeitungsvorgänge in *Versuchsblock 3* bezieht.

Die indischen Versuchsteilnehmer halten nach Abschluß der dritten Blockanordnung ein ebenso hohes Erregungsniveau (Vigilanz¹) wie die deutschen Musiker aufrecht. In ihren Potentialskizzen für Skalenton 2 ist ebenfalls eine negative Verschiebung der *Dur*-Spannungskurve vorhanden (vgl. Abb.77)².

Auch die türkische Versuchsgruppe ordnet den Dur- und Hicaz-Wahrnehmungseindruck zwei verschiedenen ‚perceptual categories‘ zu; das Kurvenbild gibt jedoch keinen Aufschluß darüber, ob der ebenfalls für türkische Musiker zu beobachtende *konstante* ‚Spannungspegel‘

¹ ‚Neurologisch-physiologische Bezeichnung für einen Zustand erhöhter Reaktionsbereitschaft, hervorgerufen durch die über das ARAS (Aufsteigendes Retikuläres Aktivations-System) über das Stammhirn und Zwischenhirn zum Großhirn geleiteten Impulse, die bei jedweder Reizung einen die Wachheit ... steigernden Effekt ausüben ... In der Psychologie bezeichnet der Begriff einen jeden Zustand erhöhter Leistung ... bzw. den Leistungsverlauf in Abhängigkeit von Versuchsdauer und Schwierigkeit der Aufgaben bei Experimenten, in denen Signale verschiedener Art unterschieden und mit unterschiedlichen Reaktionen beantwortet werden müssen.“ (*dtv Wörterbuch zur Psychologie*, Stichwort ‚Vigilanz‘, S. 362f.)

² Beachte den unterschiedlichen Maßstab in den Potentialskizzen der deutschen und indischen Probanden.

des Dur-Potentials auf die hohe Präsentationsrate des Dur-Tons oder auf die Variable ‚Vertrautheitsgrad‘ zurückgeführt werden kann, da anzunehmen ist, daß Türken die synthetische Dur-Tonleiter im Vergleich zur elektronischen Fassung des makam Hicaz aufgrund von Akkulturation als bekannter einstufen. Vermutlich ist von einer Konfundierung beider Variablen - ‚Stimuluswahrscheinlichkeit‘ und ‚Vertrautheitsgrad‘ - auszugehen.

Ton 3:

Kulturanpassung bzw. die Übernahme des Dur-Moll-bezogenen, ‚westlichen‘ Musikdenkens äußert sich bei türkischen Musikern auch im P3-Verhalten:¹

Türkische Musiker reagieren mit einer P3-Komponente auf Ton 3 des makam Hicaz, den sie als neutralen Terzton (punktuell gedeutet) bzw. als übermäßigen Sekundschrift (relational gehört) offenbar als Unregelmäßigkeit gegenüber dem Dur-Vergleichston empfinden. Ton 3 der Dur-Skala stellt für die türkische Versuchsgruppe damit vermutlich einen ‚bekannteren‘ Stimulus als Ton 3 der kultureigenen Hicaz-Skala dar; (es ist jedoch der Einfluß der elektronischen Klangerzeugung zu berücksichtigen.)

Ton 4:

Inde zeigen an Tonpunkt 4 eine P3-Komponente bzw. ‚long lasting positivity‘, die - analog zu Skalenton 4 in den zuvor gebotenen Versuchsanordnungen - auf das Wahrnehmen von *Teilepochen* resp. auf das rückbezügliche (reflexive) Bewerten von Viertelabschnitten (Tetrachordpattern) hinweist.

Als Erklärung für dieses kulturspezifische Hörverhalten kommen bestehende Frequenzunterschiede zwischen den Standard- und Deviant-Tönen offenbar nicht in Betracht:

Hier (wie in Versuchsblock 2) tritt eine P3-Reaktion auf den devianten Ton bei einer Frequenzdifferenz von 1 Cent (0 Cent) auf, Ursache ist vermutlich die geringe Präsentationshäufigkeit der devianten Hicaz- bzw. harmonisch Moll-Skala.

¹ Ähnlich wurden die ereigniskorrelierten Komponenten für Skalenton 3 in Versuchsblock 1 und 2 interpretiert.

Türkische Probanden wenden dieses elementare tetrachordische Hörprinzip infolge von Akkulturation weniger konsequent an; im Kurvenbild ist keine P3-Welle ersichtlich.

Ton 5:

Komponentenreaktionen im Latenzbereich 1 oder 2 sind nicht zu beobachten.

Ton 6:

Der Skalenzusammenhang (Kontext) wirkt sich an Tonstufe 6 erneut auf die Tonhöhenverarbeitung aus (vgl. Deutung Ton 6, Block 1 und Block 3) und setzt den für deutsche Probanden angenommenen cut-off-point von 50 Cents außer Kraft: ‚Categorical perception‘ bzw. die Zuordnung des Dur- und Hicaz-Tonhöhereindrucks zu zwei verschiedenen Tonhöhenklassen findet schon bei einem Frequenzunterschied von 17 Cents statt. Die vorhandene Amplitudendifferenz in der Stan-/Dur-Skizze der *indischen* Musiker (Elektrodenposition Cz) weist abermals auf eine Tonhöhenunterscheidung und -erkennung hin, bei der *a priori* schmalere ‚tonal zones‘ angenommen werden.

Ton 7:

Das Kurvenbild der deutschen Musiker ist als Sonderfall zu werten:

Es enthält erstmals *keine* P3-Komponente als Reaktion auf den devianten siebten Hicaz-Ton, die in den vorhergehenden Versuchsanordnungen als Indikator für das Nicht-Erfüllen der Leittonerwartung gedeutet wurde (vgl. Abb. 79 sowie S. 252ff).

In diesem Versuchsblock ist die P3-Welle offenbar habituiert, deutsche Musiker kennen die Hicaz-Skala bereits aus Skalenblock 3 (sie war dort im Standard-Modus vorhanden).

Die indische Versuchsgruppe hingegen reagiert auf die Tonhöhenabweichung (Hicaz-Ton Nummer 7) mit einer deutlichen P3-Reaktion.

Es ist zu vermuten, daß der siebte Hicaz-Ton von Indern in Relation zu einer internalisierten ‚that‘-Schablone perzipiert wird - konkret: zum erlernten, in der Struktur dem makam Hicaz ähnelnden ‚that Marva‘¹, der jedoch zwischen Tonort 7 und 8 einen Tonschritt von einer *kleinen* Sekunde aufweist. Hicaz-Ton 7 löst dann als auffällige Abweichung vom mental repräsentierten Leitton des ‚that Marva‘ (s. Notenskizze unten) die beschriebene P3-Komponente aus.

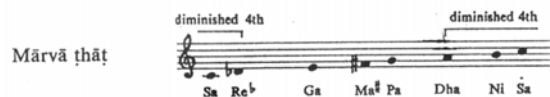
Ton 8:

Deutsche und türkische Probanden reagieren auf bekannte Weise und prägen eine P300-Welle als Indiz für Patternwahrnehmung bzw. den Abschluß einer kognitiven Epoche aus. Auffällig ist jedoch die P3-Komponente im Kurvenbild der Inder; sie stellt eine Ausnahme dar. Mit ihrem P3-Verhalten weisen somit auch indische Versuchspersonen dieses Mal auf den Abschluß der kognitiven Epoche nach der aufwärtsgerichteten - avarohana - Tonfolge hin. Diese ungewohnte bioelektrische Reaktion der Inder ist möglicherweise das Ergebnis eines Lerneffekts.

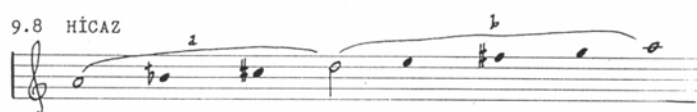
¹ Der ‚makam Hicaz‘ und der ‚that Marva‘ (synonym: ‚that Puravi‘, Danielou *Einführung in die indische Musik*, S. 48) unterscheiden sich - von Ton 7 abgesehen - in der Größe der folgenden Tonschritte voneinander:

	that Marva	makam Hicaz
Abstand zwischen Tonstufe 3 und 4:	Ganzton	großer Halbton
Abstand zwischen Tonstufe 4 und 5:	Halbton	großer Ganzton

Der ‚that Marva‘ als Notenbild:



im Vergleich hierzu der makam Hicaz [Notenbild]



6.2.5. Block 5: Thai-Standard versus Dur-Deviant

Ton 1:

Die Kurvenverläufe des Thai-Standard- und Dur-Deviant-Potentials sind nahezu kongruent, Komponentenreaktionen fehlen in beiden Latenzbereichen.

Ton 2:

In diesem Versuchsblock ist die Stan-Dev-Konstellation ‚reziprok‘; die äquiheptatonische thailändische Leiter stellt den Standardreiz dar. Kategoriale Wahrnehmung an Tonort 2 ist für deutsche Probanden in dieser Skalen-Kombination offenbar mit Anspannung und gesteigerter Aufmerksamkeit verbunden; der doppelte Anstieg der Spannungskurven („negative shifts“ im Latenzbereich 2, Thai- sowie Dur-Potential) ist hierfür ein bioelektrischer Beleg. Er deutet zugleich auf die mentale Bereitstellung von nur einer Tonhöhenklasse zur Verarbeitung des Thai-Standard- und Dur-Deviant-Tonhöheindrucks hin (Frequenzdifferenz: 28,6 Cents).

Ton 3:

Die geänderte Stimulushäufigkeit von 25% / 75% (Thai- / Dur-Tonleitern, Block 1) zu 75% / 25% (Thai- / Dur-Tonleitern, Block 5) wirkt sich offenbar nicht auf den Vorgang des ‚context updating‘ aus: Deutsche Probanden reagieren mit einer P3-Komponente auf den dritten Thai-Ton, obwohl dieser im *Standard*-Modus vorliegt (Tonhöhen-Abweichung gegenüber dem Dur-Terzton: mehr als ein Viertelton).¹

¹ Frequenzdifferenz zwischen Thai-Ton 3 und Dur-Ton 3: (umgerechnet) 57,2 Cents.

Ton 4:

Die kulturbedingte Eigentümlichkeit von non-westerners, Tonleiterfolgen in Tetrachordabschnitten zu apperzipieren, ist abermals in dieser (fünften) Versuchsanordnung evident.

Dennoch ist das Verhalten von türkischen und indischen Probanden hier - ebenso wie in den Versuchsblöcken 2, 3, und 4 - voneinander verschieden:

Türken weisen eine ‚späte‘ P3-Welle als Antwort auf den devianten Dur-Ton auf.

Inder bilden in sämtlichen Versuchsblöcken Positivierungen an Tonort 4 *unabhängig* vom Standard- bzw. Deviant-Modus aus; in diesem Fall ist eine P300 als Reaktion auf den Thai-Standard-Ton zu beobachten.

Ton 5:

Für Skalenton 5 gibt es in beiden Latenzbereichen keine näher zu interpretierenden Komponentenreaktionen.

Ton 6:

Indische Musiker haben die Tonhöhenabweichung vom Thai-Standard-Ton (in Form des sechsten Dur-Tons) wahrgenommen und reagieren darauf mit einer P3-Komponente. Ob Thai-Ton Nummer 6 - als Element einer Standard-Skala, deren äquidistante Binnenstruktur den Indern nicht vertraut ist - darüber hinaus die Funktion des ‚samvadi‘ erfüllt, kann aus dem Kurvenbild nicht entnommen werden.¹

¹ Ein anderer Sachverhalt liegt meines Erachtens im *ersten* Versuchsblock vor: Aufgrund der strukturellen Übereinstimmung zwischen dem nordindischen ‚that Bilaval‘ und der häufig gebotenen Standard-Skala (Dur) kommt dem Dur-Standard-Ton 6 dort vermutlich eher die Rolle des ‚samvadi‘ zu (dazu S. 250).

Ton 7:

Unabhängig vom Wechsel des Stan-Dev-Modus bzw. der Umkehrung der Präsentationsrate stellt Thai-Ton Nummer 7 auch in diesem Versuchsblock eine Verletzung der Hörgewohnheit dar (leittöniges Denken) und hat eine Revision der gespeicherten Dur-Tonleiter-Schablone im Sinne des ‚context updating‘ zur Folge (Tonhöhenabweichung gegenüber Dur-Ton 7: circa ein $3/8$ Ton¹).

Deutsche und indische Probanden bilden daher eine P300-Welle als Reaktion auf den *Thai-Standard-Ton* aus.

Ton 8:

Der Abschluß der kognitiven Epoche (AKE) wird im vorliegenden Versuchsblock durch elektrophysiologische Komponenten weniger deutlich repräsentiert:

Ein entsprechender P3-Indikator fehlt im Kurvenbild der deutschen Musiker, als Grund kommt Habituation infolge von Gewöhnung an die Versuchssituation in Betracht.

Türkische Versuchsteilnehmer bilden nur an Elektrodenort Cz eine ‚P3-(AKE)-Komponente‘ aus. Inder zeigen wegen der Unvollständigkeit der ‚Auf-Ab-Leitersequenz‘ auch dieses Mal keine Positivierung im Latenzbereich 1.

¹ Frequenzdifferenz: (umgerechnet) 71,6 Cents.

6.2.6. Zusammenfassung der wichtigsten Interpretationsergebnisse

6.2.6.1. Blockübergreifend, Tonstufe eins bis acht

Ton 1:

Dur- bzw. Thai-Ton 1 löst für *Deutsche* bzw. *non-westerners* im ersten Versuchsblock situationsbedingt eine P3-Welle als Indikator der Orientierungsreaktion aus, obwohl Frequenzunterschiede zwischen dem ersten Ton der Standard- und der Deviant-Skala fehlen. Die P3-Komponente ist nach Gewöhnung an das Versuchsdesign und die Darbietungsform in den Versuchsanordnungen 2 bis 5 habituiert.

Ton 2:

Skalenton 2 ist der erste Leiterton, der unterschiedliche Frequenzwerte in seiner Standard- und Deviant-Ausprägung aufweist. Er hat sich beim Identifizieren der Leiterstruktur als erste wichtige ‚Schaltstation‘ erwiesen (Block 1, 3, 4 und 5).

Amplitudenabstände zwischen den Standard- und Deviant-Spannungskurven, die im zweiten Latenzbereich aufgrund von negativen Potentialverschiebungen in eben diesem Zeitintervall zu beobachten sind, werden als bioelektrischer Indikator der ‚kategorialen Tonhöhenwahrnehmung‘ interpretiert. Einfache Negativierungen (d.h. hinreichend große Amplitudendifferenzen zwischen den Stan- / Dev-Potentialverläufen) sind dabei Ausdruck für eindeutige ‚pitch discrimination‘- und ‚pitch identification‘-Vorgänge, verbunden mit einer mentalen Zuordnung beider Tonhöheneindrücke zu *zwei* verschiedenen Wahrnehmungskategorien (Beispiel: türkische und indische Vpn, Block 1). Doppelte ‚negative shifts‘ (mit einem kleinen Amplitudenabstand bei nahezu kongruenten Potentialverläufen) deuten im Unterschied dazu auf einen großen kognitiven Verarbeitungsaufwand als Folge von komplizierteren Tonhöhenunterscheidungs- und Tonhöhenerkennungsprozessen hin; sie indizieren den Vorgang des Zurechthörens bzw. das mentale Bereitstellen von nur *einer* Wahrnehmungskategorie zur

Verarbeitung des Standard- und Deviant-Tonhöhereindrucks (Beispiel: deutsche Vpn, Block 1).

Das ERP-Verhalten von sämtlichen Probanden im Latenzbereich 2 zeigt ferner, daß die Variablen ‚Vertrautheit mit dem Reizmaterial‘ und ‚Stimuluswahrscheinlichkeit‘ einen Einfluß auf die Größe des Verarbeitungsaufwands, auf Aufmerksamkeitsvorgänge sowie das Zuordnen zu ein oder zwei Tonhöhenklassen haben:

Nicht-vertraute makam-Standard- und Thai-Deviant-Töne (Versuchsblock 3, Ton 2) lösen bei deutschen und indischen Probanden einen zweifachen Anstieg des Potentialverlaufs aus und werden in nur *einer* Wahrnehmungskategorie verarbeitet.

Für *unbekannte* zweite Deviant-Töne *in Kombination mit bekannten* zweiten Standard-Tönen werden - dem einfachen Kurvenanstieg (d.h. der hinreichend großen Amplitudendifferenz zwischen dem Stan-/ Dev-Potential) zufolge - dagegen *zwei* Tonhöhenklassen zur Verarbeitung des Wahrnehmungseindrucks mental bereitgestellt (Türken Block 3, Deutsche und Türken Block 4).

Bei *geänderter Präsentationsrate* (Block 5) geht die Perzeption des zweiten Dur- und Thai-Tons für *deutsche Versuchsteilnehmer* überdies mit verstärkter Aufmerksamkeit bzw. einer zweifachen negativen Potentialverschiebung einher.

Ton 3:

‚Context updating‘ - d.h. der Vorgang des Korrigierens und Aktualisierens einer gespeicherten Tonleiter-Schablone nach Perzeption einer Tonhöhen*abweichung* - ist erstmals für Tonstufe 3 festzustellen und wird bioelektrisch durch eine *P3-Komponente* indiziert (Deutsche, Türken, Inder: Block 1; Inder: Block 3; Türken: Block 4 sowie Deutsche: Block 5).

Folgende Besonderheiten sind hierbei auszumachen:

1. Im Kurvenbild der *deutschen* Probanden a) ein überraschend kleiner P3-Amplitudenwert als Reaktion auf den Thai-Deviant in Block 1 sowie b) das Fehlen einer solchen Komponente in der Dur-Moll-Gegenüberstellung für Moll-Ton 2 (Block 2).

Der Sachverhalt läßt für Punkt a) auf eine nur geringe Relevanz des Dur-Terztons und für Punkt b) auf die vorhandene mentale Repräsentation der harmonischen Molltonleiter im Langzeitgedächtnis schließen.

2. Das P3-Verhalten der *indischen* Probanden wurde dahingehend interpretiert, daß dem dritten *Standard*-Ton die für diese Versuchsgruppe aufgrund von frühen Sozialisations-/ Internalisierungsvorgängen anzunehmende ‚vadi‘-(Zentralton)-Funktion zukommt (Dur-Ton, Block 1 bzw. Hicaz-Ton, Block 3).

3. Die P3-Wellen der *türkischen* Versuchsgruppe (für Thai-Ton 3, Block 1 und Hicaz-Ton 3, Block 4) sind vor dem Hintergrund von Kultur-Adaptation zu werten: Thai-Ton 3 bzw. makam-Ton 3 werden offenbar als Irregularität gegenüber dem Vergleichston der (*akkulturierten*) *Dur-Skala* empfunden.

Eine geänderte Präsentationsrate (vgl. Versuchsanordnung 5) hat auf den Vorgang des ‚context updating‘ keinen Einfluß.

Ton 4:

Die P3- und ‚long lasting positivity‘-Reaktionen von sämtlichen Versuchsteilnehmern lassen vermuten, daß dem vierten Skalenton per se eine besondere Funktion - diejenige eines Anker- bzw. kognitiven Bezugspunktes - zukommt. Die ‚long lasting positivity‘ der *deutschen Probanden* (speziell für Thai-Ton 4 in Block 1) ist vom funktionsharmonischen, hierarchischen Denken her zu deuten und als Indiz für eine Abweichung vom erwarteten Subdominantenton zu interpretieren.

Die positive Wellenformen der ‚non-westerners‘ sind im Gegensatz dazu Ausdruck eines ‚rückbezüglichen‘ Bewertens des ersten disjunkten Tetrachords bzw. eines kulturspezifischen, auf Viertonssegmente bezogenen Hörprinzips: *Türkische Probanden* haben von dieser Art der Perzeption und Apperzeption - aufgrund des als abgeschlossen angenommenen Akkulturationsvorgangs - weniger konsequent Gebrauch gemacht (P3-Komponente nur für Dur-Ton, Block 1 sowie Dur-Ton, Block 5).

Indische Musiker haben die tetrachordbezogene Hörweise hingegen konsequent beibehalten und eine positive Wellenform als Reaktion auf Standard- oder Deviant-Töne unabhängig vom Stan-Dev-Modus in jeder der fünf Versuchsanordnungen ausgebildet.

Ton 5:

Der Quintton der Dur-Skala stellt für *deutsche Probanden* - sowohl als Bestandteil einer konkret präsentierten Standardleiter (Block 1) als auch als Element einer *latent* vorhandenen internalisierten Dur-Schablone (Block 3) - einen wichtigen kognitiven Bezugspunkt dar, der erneut auf das kultureigene funktionsharmonische Denken hinweist.

Tonhöhen-*Abweichungen* vom Standard-Dur-Ton (Block 1, Thai-Ton 5 sowie Block 3, Thai-Ton 5) lösen deshalb eine P300-Komponente („Überraschungs-positive-shift“) aus; vergleichbare Reaktionen fehlen bei *türkischen* und *indischen Versuchspersonen*.

Ton 6:

Der Skalen*kontext* (d.h. die stufenweise, nach der Tonhöhe geordnete Anordnung von maximal acht Tönen) hat einen Einfluß auf die kategoriale Hörweise von *deutschen* Probanden; der Effekt des Skalenzusammenhangs wird vor allem an Tonstufe 6 im zweiten Tetrachord deutlich:

In Hinblick auf den sechsten Standard- und Deviant-Ton ist eine klare sensorische Tonhöhen-Unterscheidung („pitch discrimination“) und -Klassifikation („pitch identification“) verbunden mit einer Bereitstellung von zwei Wahrnehmungskategorien für *deutsche Musiker* wohl bereits bei einer Frequenzdifferenz von 17 Cents (Block 4) bzw. von 26 Cents (Block 3) sowie 43 Cents (Block 1) gegeben - als Indikatoren werden hierfür die großen Amplitudenabstände zwischen den Standard- und Deviant-Spannungskurven im zweiten Latenzbereich herangezogen. Die für deutsche Musiker a priori als geltend angenommene Toleranzspanne des Zurechthörens von ± 50 Cents um die exakte Grundfrequenz, welche eine eindeutige Perzeption und Apperzeption erst für Intervalle mit der Größe von einem Viertelton garantiert, muß für Skalenton 6 folglich neu, mit kleineren Eckwerten festgelegt werden.

Aus dem P3-Verhalten der *indischen Musiker* in Versuchsblock 1 wurde außerdem auf die für diese Kulturgruppe unter strukturellem Gesichtspunkt relevante „samvadi“-Funktion des sechsten Dur-Tons geschlossen (dazu S. 250).

Ton 7:

Das Hörprinzip ‚Leittonerwartung‘, das von *deutschen Versuchspersonen* in der Phase der musikalischen Sozialisation erlernt wurde und im täglichen spielpraktischen Umgang mit der Halbton-/ Ganztonstruktur der Dur-Moll-Skalen stets inbegriffen ist, konnte in Versuchsblöcken mit *konkret* gebotenen Dur-Leiterfolgen (Block 1 und Block 5 (dort: unabhängig vom Faktor ‚Präsentationsrate‘) nachgewiesen werden und war auch bei nur *latent* vorhandener mentaler Dur-Vergleichsschablone wirksam (Block 3 Hicaz- versus Thai-Skalen). Das Nicht-Erfüllen der Leittonerwartung im Rahmen der oddball-Versuchsanordnung hatte bei deutschen Musikern stets eine P3-Komponente - als Ausdruck eines ‚context updating-Vorgangs‘ - ausgelöst,¹ wobei der neue, vom Leitton abweichende Reiz-Input ein Aktualisieren des im Langzeitgedächtnis gespeicherten Dur-Skalen-Musters zur Folge hatte. Leittöniges Denken in beiden non-westerner-Gruppen ist aufgrund der in ihren Musikkulturen vorhandenen zahlreichen that- bzw. makam-Strukturvarianten weniger deutlich ausgeprägt: Halb- und Ganztonschritte zwischen Tonstufe 7 und 8 einer Skala sind zu gleichen Teilen zu finden; ‚context updating‘ ist nicht erforderlich. *Indische* Probanden perceivezieren dennoch zumeist schablonenbezogen, sie reagieren in den Blöcken 1, 4 und 5 mit einer P3-Komponente auf Abweichungen vom Dur- bzw. ‚that Marva‘- Bezugsrahmen.

¹ Ausnahme: Habituation der P3-Welle in Versuchsblock 4.

Ton 8:

Die bei deutschen und türkischen Versuchspersonen zu beobachtenden P3- und „long lasting positivity“-Reaktionen wurden mit einer Hypothese des Neurophysiologen Rolf Verleger erklärt und als Indiz für den „Abschluß einer kognitiven Epoche“ bzw. als Korrelat eines „Patternwahrnehmungs- und -verarbeitungsvorgangs“ gedeutet (Versuchsanordnungen 1, 3, 4 und 5).

Die fehlende P3-Komponente in den Potentialskizzen der Inder (Block 1, 2, 3 und 5) ist vor dem Hintergrund ihrer kultureigenen Spielpraxis zu interpretieren und auf die - aus ihrer Sicht - unvollständige Präsentationsweise einer Tonleiter (aufwärtsgerichtete Folge einzelner Tonschritte anstelle einer kombinierten auf-/ab-(arohana und avarohana)-Bewegungsform) zurückzuführen.

6.2.6.2. Kulturbedingte Besonderheiten im Hörverhalten von Deutschen, Türken und Indern (Perzeption und Apperzeption):

	Deutsche	Türken	Inder
Ton 2 / Ton 3	<p>sensor. Tonhöhenunterscheidung / Tonhöhenerkennung bei einem Frequenzunterschied von ± 50 Cents zwischen dem Stan-/ Dev-Ton Indikator: einfacher „negative shift“ = große Ampl. Differenz zwischen dem Stan- und dem Dev-Potential, Block 1 (Ton 3), Block 2 (Ton 3), Block 4 (Ton 2)</p>	<p>eindeutige „pitch discrimination“- und „pitch identification“- Vorgänge bei vorhandenen enger gezogenen Kategoriengrenzen (schmalerer Klassenbreite) einfacher „negative shift“ = großer Stan- / Dev-Amplituden- abstand, Block 1 (Ton 2, Ton 3), Block 2 (Ton 3), Block 3 (Ton 2, Ton 3), Block 4 (Ton 2)</p>	~ Türken

	Deutsche	Türken	Inder
Ton 3	der Dur-Terzton hat als Ankerpunkt bzw. als Vergleichston eine geringere Bedeutung als ursprünglich vermutet; kleine P3-Amplitude, Block1		Annahme: dem Terzton der Dur-Skala kommt die Funktion des ‚vadi‘ zu; kleine P3, Block 1 und 3
Ton 4	kognitiver Bezugspunkt /funktionsharmonisches Denken; P3 / long lasting positivity, Block 1 (Ton 4) und Block 3 (Ton 5)	kognitives Beurteilen des ersten disjunkten Tetrachords (rückwärtsgehend); P3 / long lasting positivity, Block 1 und Block 5	tetrachordbezogenes Hören (unabhängig vom Stan- / Dev-Modus); P3 / long lasting positivity, Block 1,2,3,4,5
Ton 6			Annahme: ‚samvadi-Funktion‘ des Dur-Tons; P3, Block 1

	Deutsche	Türken	Inder
Ton 7	Nicht-Einlösen der Leittonerwartung; ‚context updating‘ einer konkret vorhandenen bzw. latent wirksamen Dur-Schablone; P3, Block 1,3,5	leittöniges Denken ist nicht deutlich ausgeprägt (Grund: differenzierte Struktur der ‚kultureigenen‘ makam-Skalen; <i>fehlende</i> P3-Reaktion, Block 1; vorhandene P3-Welle, Block 3	schablonenbezogene Perzeption (Bezugsrahmen: Dur-Tonleiter bzw. ‚that Marva‘) P3, Block 1,4,5
Ton 8	Abschluß der kognitiven Epoche; Ausdruck für Patternwahrnehmung und -verarbeitung; P3-Komponente, Block 1, 3, 4	Abschluß der kognitiven Epoche P3-Komponente, Block 1, 4, 5	kein Abschluß der kognitiven Epoche, da unvollständige Skalenpräsentation (einfache arohana-Bewegungsform); <i>fehlende</i> P3, Block 1,2,3,5

**6.2.6.3. Faktoren und Variablen, die einen Einfluß auf die
Tonhöhenwahrnehmung und -verarbeitung haben
(Indikatoren: P3-Komponente / negative
Potentialverschiebung)**

Deutsche	Türken	Inder
„Vertrautheit mit dem Reizmaterial“ (Block 3 Ton 2 / Ton 3)	„Vertrautheitsgrad“ (Block 3 Ton 2; Block 4 Ton 2)	„Vertrautheitsgrad“ (Block 3 Ton 2 / Ton 3)
„Skalenkontext“ (Block 1 Ton 6; Block 3 Ton 6; Block 4 Ton 6)		
	„Akkulturation“ (Block 1 Ton 3; Block 2 Ton 3; Block 4 Ton 3; Ton 4 in den Versuchsblöcken 2, 3, 4)	
	„synthetischer Charakter der Stimuli“ (= fehlende Klangfarben-Komponente) (Block 2 Ton 3; Block 3 Ton 3; Block 4 Ton 3)	„synthetischer Charakter der Stimuli“ (Block 2 Ton 3)
„geänderter Stan-Dev Modus“ (Block 5 Ton 2)	„geänderter Stan-Dev Modus“ (Block 5 Ton 3)	

7. Resümee und abschließende Diskussion (geordnet nach Themenfeldern)

7.1. Neurophysiologischer Bereich: Anmerkungen zur ‚P300-Komponente‘, zur ‚Verarbeitungsnegativität‘ und ihren Indikatorfunktionen

Die Welle ‚P300‘, ihre Variante ‚long lasting positivity‘ und die ‚Verarbeitungsnegativität‘ stellen das elektrophysiologische Ergebnis des durchgeführten ERP-Versuchs dar. Die Potentialformen sind als voneinander *unabhängige* endogene Komponenten aufzufassen, für die ein jeweils anderer neurophysiologischer Entstehungsmechanismus und eine unterschiedliche Indikatorfunktion angenommen werden kann.¹

Sie wurden im vorherigen Kapitel als bioelektrische Indikatoren für spezifische Informationsverarbeitungs-Vorgänge interpretiert:

Für die P3-Komponente konnten drei verschiedene Indikator-Funktionen bei der Kurven- und Komponentenauswertung festgestellt werden. Die Welle gibt zum ersten die allgemeine Ein- bzw. Umstellung sämtlicher Probanden auf das Versuchsdesign und die artifizielle Laborsituation wieder und ist damit Ausdruck der sog. ‚Orientierungsreaktion‘ (vgl. Interpretation der P3-Wellen, Block 1, Standard- und Deviant-Ton 1, S.241).

Die P300 indiziert weiterhin den aufgrund einer Tonhöhen-*Abweichung* im Kurzzeitgedächtnis ablaufenden Prozeß des Revidierens resp. Aufbrechens einer mental abgespeicherten Tonleiterschablone (‚overlearned schema‘). Der Sachverhalt ist unter der Bezeichnung ‚context updating‘ bekannt; er wird im Fachgebiet ‚Psychophysiologie‘ kontrovers diskutiert und wurde in diesem Experiment vor allem zur Erklärung des Komponentenverhaltens bei Skalenton 7 herangezogen.

¹ Die Unabhängigkeit der Komponentenarten war in den bioelektrischen Reaktionen des ersten Versuchsblocks besonders deutlich: Auf der einen Seite stellte sich eine Frequenzdifferenz von (umgerechnet) 14,2 Cents zwischen Thai-Ton 4 und dem Dur-Vergleichs-Ton 4 als ein hinreichend großer Wert heraus, um bei sämtlichen Probanden eine ‚long lasting positivity‘ bzw. eine P3-Komponente auszulösen. Für die Ausprägung einer ähnlich deutlichen *Verarbeitungsnegativität* hingegen war - zumindest für die Gruppe der deutschen Dirigenschüler, die eine Ausbildung am Klavier (Instrument mit invariablen Tonabständen) erhielten - ein Frequenzunterschied von mehr als 50 Cents erforderlich (Beispiel: Versuchsblock 1, Skalenton 3).

Die P300-Welle wurde drittens - entsprechend einer von dem Neurophysiologen R. Verleger aufgestellten Hypothese - als Indikator für den ‚Abschluß einer kognitiven Epoche‘ (zeitlichen Gestalt) bzw. für den Vorgang der ‚pattern-Wahrnehmung und -Verarbeitung‘ gedeutet (Skalenton 8, deutsche und türkische Probanden, Versuchsblock 1, 3, 4 und 5).

‚Verarbeitungsnegativität‘ - die zweite zur Diskussion stehende endogene Komponente des durchgeführten ERP-Experiments - wurde stets in Relation zu der durch den Vergleichston von identischer Nummerierung ausgelösten Potentialkurve interpretiert. Sie trat als ERP-Reaktion insgesamt ebenso häufig wie die P300-Komponente auf. Die Amplitudendifferenz zwischen dem Standard- und dem Deviant-Potential war dabei Ausdruck des vornehmlich auf Berufsmusiker zutreffenden Hörprinzips ‚kategoriale Tonhöhenwahrnehmung‘, das mit einer intern erfolgenden Zuordnung des Höreindrucks zu separaten mentalen Wahrnehmungskategorien verbunden ist (ausführlich S. 241ff der vorliegenden Arbeit).

Für die P300-Komponente konnten in diesem Experiment also drei verschiedene Indikatorfunktionen ermittelt werden; sie war bioelektrischer ‚Stellvertreter‘ für die ‚Orientierungsreaktion‘, das ‚context updating‘ sowie den ‚Abschluß einer kognitiven Epoche‘; die negative Spannungsverschiebung ‚Verarbeitungsnegativität‘ wurde im Unterschied hierzu durchgängig als Ausdruck des Hörprinzips ‚categorical perception‘ interpretiert.

Geht man von der Annahme eines *sequentiell (seriell)* ablaufenden Vorgangs der Informationsverarbeitung aus, so hatte sich in diesem Zusammenhang zwar nicht die Ausprägung der ERP-Komponenten per se, jedoch die *zeitliche Aufeinanderfolge* von ‚P300‘ und ‚Verarbeitungsnegativität‘ als ein schwieriger und kontrovers zu handhabender Sachverhalt herausgestellt:

Konnte zunächst auf den im Kurzzeitgedächtnis ablaufenden Prozeß des ‚context updating‘ von mental gespeicherten Repräsentationen durch die im Latenzbereich um 300 msec zu beobachtende P300-Welle geschlossen werden, so war für den vom Prinzip her zeitlich früher einzuordnenden Prozeß der ‚kategorialen Wahrnehmung‘ *erst hernach* der entsprechende

bioelektrische Indikator ‚Verarbeitungsnegativität‘ aus dem Kurvenbild zu entnehmen. Eindeutige Aufschlüsse zur *Chronologie* der Komponenten und der zugrunde liegenden kognitiven Prozesse waren aus den Potentialkurven des ERP-Experiments nicht zu erhalten; weitere bioelektrische Untersuchungen sollten diesbezüglich folgen.

Um die Rolle und Funktion des späten ‚shifts‘ ‚Verarbeitungsnegativität‘ im Rahmen von Informationsverarbeitungsvorgängen dennoch näher bestimmen zu können, sollen die Ausführungen von A. Schneider zum Konzept der ‚kategorialen Wahrnehmung‘ (Beitrag von 1994) noch einmal herangezogen werden. Schneider spricht in diesem Beitrag die Zweiteilung des Verarbeitungsprozesses in ‚pitch discrimination‘- und ‚pitch identification‘-Vorgänge an. Er schreibt wörtlich: „One has to bear in mind, ... , that the model [i.e. the signal detection paradigm] originally deals with *discrimination* processes and sensation (rather than perception and identification) in the first place ...“, außerdem: „categorical perception ... is based on absolute judgements and identification of stimuli as well as of a discrimination function.“¹

Ausgehend von diesen Feststellungen wäre es denkbar, daß nicht der perzeptive Vorgang der Tonhöhenunterscheidung (pitch discrimination), sondern erst der *zeitlich nachfolgende apperzeptive* Teil der ‚kategorialen Wahrnehmung‘ (pitch identification) durch die späte Komponente ‚Verarbeitungsnegativität‘ indiziert würde.

Zur Abbildung des ‚categorical pitch‘-Prinzips in der ‚Verarbeitungsnegativität‘ ist allerdings noch Folgendes anzumerken:

Tonhöhen-*Erkennung* (pitch *identification*), d.h. der apperzeptive Teil des Hörkonzepts, liegt meiner Auffassung nach in eindeutiger Form nur in solchen Fällen vor, wo ein großer ‚negative shift‘, d.h. eine große Amplitudendifferenz zwischen dem Standard- und Deviant-Potential als Ausdruck einer mentalen Zuordnung der Höreindrücke zu zwei verschiedenen Wahrnehmungskategorien erkennbar ist (Beispiel: deutsche, türk. und ind. Probanden, Block1, Ton 3). Ein *doppelter* Anstieg - sowohl der Standard- als auch der Deviant-Spannungskurve² - deutet hingegen auf eine schwierige kognitive Verarbeitung verbunden mit einer mentalen Aktivierung von lediglich einer Tonhöhenklasse hin, so daß bei Frequenzdifferenzen von (umgerechnet) *unter 30 Cents* ein Zusammenwirken *beider* Bereiche des kategorialen

¹ in: „Tone system, intonation ...“, 1994, S. 227; kursiv im Original.

² Beispiel: deutsche Probanden Ton 2, Versuchsblock 1 (Dur-Thai) sowie in Block 3 (Hicaz-Thai) und in Block 5 (Thai-Dur).

Hörprinzips, d.h. eine ‚Konfundierung‘ von Diskriminations- und Identifikationsprozessen - zumindest bei denjenigen Versuchsteilnehmern zu vermuten war, die lediglich Umgang mit Instrumenten von invariabler Tonhöhe bzw. gleichbleibender Intonation (‚fixed tuning‘) hatten (Gruppe der deutschen Dirigenschüler, instrumentales Hauptfach: Klavier).

Ohnehin ist *seriell* ablaufende Informationsverarbeitung, d.h. ein zeitliches Nacheinander von kognitiven Verarbeitungsschritten als Prinzip in Frage zu stellen; es sollte vielmehr über *parallele*, d.h. gleichzeitig und voneinander unabhängig erfolgende oder sich wechselseitig bedingende kognitive Abläufe nachgedacht werden. Die Idee einer elektrophysiologisch zu belegenden *kognitiven Parallelverarbeitung* wurde bereits von R. Näätänen und I. Winkler (Beitrag von 1999) vertreten. Dort heißt es mit Bezug auf die sog. ‚mismatch negativity‘: „The formation of [an] abstract trace does not result in an immediate elimination of the sensory stimulus representation ... Rather, the two types of memory traces coexist and are probably linked to each other ... MMN effects demonstrate that the sensory and categorized codes of a stimulus can be present in the human brain *in parallel* ...“.¹

7.2.1. Interpretation der Potential-Ergebnisse unter dem Aspekt ‚Skalen-Struktur‘ - Wie wurden die konstitutiven Elemente einer Tonleiter perzipiert?

Es zeigte sich, daß musiktheoretisches Basiswissen zu Konstruktionsmerkmalen und -eigenheiten einer Skala anhand der Komponenten-Ergebnisse bestätigt werden konnte. Entsprechende ERP-Resultate zu diesem Aspekt sind in den folgenden drei Abschnitten zusammengestellt:

1. An mehreren Tonpunkten traten die P300-Komponente und Verarbeitungsnegativität in deutlicher Ausprägung auf. Große Amplitudenwerte waren ein Nachweis für erhöhte Aufmerksamkeit der Probanden während der Skalenperzeption, die sich auf eben diese

¹ R. Näätänen, I. Winkler ‚The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience‘, *Psychological Bulletin*, 1999, S. 849.

Orientierungspunkte (Ankertöne, „fixed *reference pitches*“¹) richtet. Als derartige „reference points“ hatten sich - unter Einbeziehung sämtlicher (vier) Tonleiterarten - vor allem die Leitertöne 2, 4 und 7 erwiesen:

Leiterton 2 stellte sich als erste wichtige „Schaltstation“ bei der Identifikation (Klassifikation) der Tonleiterstruktur bzw. der Bewertung des jeweiligen Standard- und Deviant-Höreindrucks heraus (Blöcke 1,3,4,5); die zu beobachtenden einfachen oder doppelten „negative shifts“ wurden als Ausdruck eines großen kognitiven Verarbeitungsaufwands sowie des „categorical pitch“-Konzeptes interpretiert.

Musiktheoretisch relevante Funktionen, die mit dem vierten und dem siebten Ton einer Leiter in Verbindung zu bringen sind, wurden nicht durch negative Potentialverschiebungen repräsentiert, sondern in P300-Reaktionen resp. „long lasting positivities“ abgebildet:

Die Funktion des Skalentons 4 als struktureller „Pfeiler“ einer Tonleiter sowie als ein für jede der drei Kulturgruppen wichtiger kognitiver Bezugspunkt konnte bestätigt werden: Deutsche Versuchsteilnehmer hatten Ton 4 der äquidistanten Thai-Skala in Versuchsblock 1 vermutlich in Relation zur erlernten Subdominant-Funktion des Dur-Vergleichstons perzipiert und auf die überraschende Thai-Tonhöhen-Abweichung mit einer „long lasting positivity“ reagiert. P300- und „long lasting positivity“-Antworten von türkischen und indischen Probanden waren ein Hinweis auf eine andere kultur-spezifische, internalisierte Wahrnehmungsstrategie, die im „rückwärtsgewandten kognitiven Beurteilen disjunkter Tetrachorde (Viertonsegmente)“ besteht (vgl. S. 248f).

Die „Leittonfunktion“ des siebten Tons einer diatonischen Skala, die speziell bei deutschen Musikern aufgrund des gewohnten Umgangs mit dem Dur-Moll-System mit einer Erwartungshaltung verbunden ist, konnte anhand der ERP-Kurven nahezu jedes Versuchsblocks nachgewiesen werden: Lag ein devianter siebter Thai-Ton oder ein devianter siebter Hicaz-Ton als Reiz-Input vor (Versuchsblock 1, 3 und 5), so hatten deutsche Teilnehmer auf das Nicht-Erfüllen dieser Leittonerwartung stets mit einer deutlichen P300-Komponente reagiert. (Die Dur-Tonleiter konnte entweder als konkret präsentierte Standard-Muster oder als mental gespeicherte, internalisierte Vergleichsschablone bei konkret gebotener makam-Standard-Leiter vorliegen.)

¹ J. Sloboda „The musical mind in context ...“, 1985, S. 253; kursiv im Original.

2. Anders als ursprünglich vermutet ließ sich die Bedeutung des *Terz-Tons* als konstitutives, das Tongeschlecht ‚Dur‘ oder ‚Moll‘ bestimmendes Merkmal eines Dreiklangs nicht mit Hilfe von hochamplitudigen Komponentenreaktionen bestätigen. Tonhöhen-*Abweichungen* vom Terz-Ton der internalisierten Dur-Skala (Thai-Ton 3, Block 1 und Block 5) hatten für deutsche Versuchsteilnehmer einen offensichtlich nur geringen Überraschungswert und lösten eine P3-Welle von nur geringer Amplitudengröße aus. Der Sachverhalt läßt - nach Meinung der Verfasserin - auf die geringe Relevanz schließen, die deutsche Probanden dem Terzton der Dur-Vergleichstonleiter beimessen.

Um die P3-Reaktionen der indischen Probanden bei Skalenton 3 erklären zu können, wurde auf grundlegende Sachverhalte der indischen Musiktheorie - vgl. die Kompendien von N. Jairazbhoy und A. Danielou - zurückgegriffen. Der Interpretationsvorschlag besteht darin, Dur-Ton 3 die wichtige Funktion des ‚vadi‘-Zentraltons zuzuerteilen, dessen Positionierung innerhalb des ersten Tetrachords der jeweils zugrundeliegenden that-Skala in der Regel von raga zu raga verschieden ist.¹

Innerhalb einer Tonleiter kommt, so ist aus dem Komponentenverhalten der getesteten drei Kulturgruppen herauszulesen, also nicht dem Terzton, sondern dem Quartton ein größerer Stellenwert als Anker- oder Bezugspunkt („fixed reference point“) zu.

2. Zieht man als weiteren, die Konstruktion einer Skala betreffenden Aspekt die von S. Trehub vertretene Auffassung einer genetisch bedingten Präferenz von ungleichstufigen gegenüber gleichstufigen Tonleiter-Formen heran², so konnte ihre Hypothese einer neuronal verankerten und bereits im frühen Kindesalter ausgeprägten Vorliebe für Ungleichstufigkeit („property for uneven spacing“³) nicht mit den elektrophysiologischen Daten der vorliegenden Arbeit bestätigt werden:

Potentialkurven aus Skalenblöcken mit ausschließlich asymmetrischer Intervallstruktur (Blockvariante ‚unequal scale steps‘, Dur-/Moll-Skalen, Block 2; Dur-/Hicaz-Skalen, Block 4), die Versuchsblöcken gegenübergestellt wurden, welche die auf dem Äquidistanz-Prinzip

¹ dazu Fußnote 1, S. 106.

² vgl. S. Trehub „Human processing predispositions“, in: *The origins of music*, S. 427-448.

³ R. Shepard zit. nach J. Sloboda „The musical mind in context“, 1985, S. 255.

basierende heptatonische Thai-Tonleiter enthielten (Blockvariante ‚ungleichstufige Leiterform vs. äquidistante Thai-Skala‘; Anordnung 1, 3, 5) zeigten *keine* signifikanten Unterschiede bezogen auf die Amplituden- und Latenzwerte der ERP-Komponenten.

7.2.2. Kulturspezifisch oder universal? - Anmerkungen zu Hörkonzepten und Wahrnehmungsstrategien der Versuchspersonen

Sechs verschiedene Strategien der Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung des Tonleitermaterials konnten aus dem Komponentenverhalten der Versuchsteilnehmer hergeleitet werden. Die Strategien beziehen sich auf die Perzeption und Apperzeption a) von *einzelnen* Skalen-Tönen, b) auf Ton-*Schritte* innerhalb der aufsteigenden Tonreihe, c) auf *Leiterausschnitte* oder d) das *gesamte* Skalen-Pattern.

Sie lauten wie folgt:

1. *Punktuelle* (sensorisch-perzeptive) Wahrnehmung bei einzelnen, für Struktur-Identifikation relevanten ‚Schaltstationen‘: Punktuell stattfindende Wahrnehmung an einer Schaltstelle (2. Skalenton) war mit einem internen ‚matching check‘ verbunden, bei dem der aktuelle Frequenzinput mit der Tonhöheninformation desjenigen Tonortes verglichen wurde, der eine analoge Positionierung innerhalb der im Langzeitgedächtnis gespeicherten kultureigenen Tonleiterschablone einnimmt.
Mit der punktuellen Perzeptionsweise steht die kognitive Zuordnung des Höreindrucks von aktuell präsentem Standard- und Deviant-Skalenton zu ein oder zwei separaten Wahrnehmungskategorien im Sinne des Hörprinzips ‚categorical perception‘ in Zusammenhang (elektrophysiologischer Indikator für diese Art der Perzeption bzw. Apperzeption: Verarbeitungsnegativität).
2. *Funktionsharmonisches* Hören als eine speziell für die *deutsche* Versuchsgruppe geltende Wahrnehmungsform: Sie konnte (ausschließlich) aus den ERP-Komponenten für Ton 4 und

Ton 5 in Versuchsblock 1 hergeleitet werden. Die Art, funktionsharmonisch zu hören, wurde auf den täglichen Umgang der deutschen Probandengruppe mit dur-moll-tonaler Musik zurückgeführt (Dirigentschüler). Als ERP-Reaktion konnte eine hochamplitudige P3-Komponente beobachtet werden, obgleich eine nur geringfügige Tonhöhenabweichung des devianten Thai-Tons 4 bzw. 5 vom Dur-Standard-Ton vorhanden war.¹

3. *Antizipatorisches Denken*, herzuleiten aus dem Kurvenverhalten bei Skalenton 7: Das antizipatorische Moment, verbunden mit einer Erwartungshaltung von Probanden, bezieht sich auf den Nachbarton 8 im Abstand von einer kleinen Sekunde. Der Sachverhalt ist allgemein unter dem Begriff ‚Leittönigkeit / leittöniges Denken‘ bekannt und schließt die Tendenz zur musikalischen Auflösung bzw. das Wahrnehmungsprinzip ‚melodic anchoring‘² ein.

(Elektrophysiologischer Indikator: zumeist hochamplitudige P3-Reaktionen bei deutschen sowie geringeramplitudige P3-Wellen bei indischen Probanden auf dargebotene *abweichende* Frequenzinformation, die eine Verletzung der Hörgewohnheit darstellt bzw. dem *Nicht-Einlösen* der Leittonerwartung entspricht.)

4. *Tetrachordbezogenes Hören* bei Skalenton 4: Aus den ERP-Resultaten der *nicht-europäischen* Versuchsteilnehmer ist auf ein rückwärtsgewandtes, übergreifendes Verarbeiten von Viertelabschnitten zu schließen. Leiterton 4 ist hierbei als Rahmenton des ersten (disjunkten) Tetrachords einer Tonleiter aufzufassen und als ein struktureller Anker- bzw. als ein kognitiver Bezugspunkt zu interpretieren. Tetrachordbezogenes Hören äußert sich elektrophysiologisch in einer ‚long lasting positivity‘- bzw. P3-Reaktion. Türkische Probanden prägen ‚long lasting positivity‘-Antworten - vermutlich infolge eines abgeschlossenen Akkulturationsvorgangs - nur unregelmäßig aus; für indische, nicht-akkulturierte Versuchsteilnehmer sind Positivierungen in *sämtlichen* fünf Versuchsanordnungen sowohl als Reaktion auf Standard- als auch auf Deviant-Töne zu beobachten.

¹ ausführlich S. 247f der vorliegenden Arbeit .

² Terminus J. J. Bharucha ‚Anchoring effects in music‘, 1984, S. 488.

5. ‚*Kontextuelles Hören*‘: Wahrnehmungsprinzip, auf das durch Komponenten-Reaktionen speziell an Tonstufe 6 geschlossen werden konnte. Bei deutschen Probanden hatte sich der Einfluß des *Skalenzusammenhangs* auf den Vorgang der ‚kategorialen Wahrnehmung‘ ausgewirkt und ein Herabsetzen der a priori angenommenen Klangbreite verbunden mit einer Bereitstellung von *zwei* Wahrnehmungskategorien zur Folge (von ± 50 Cents auf 43 Cents in Block 1, auf 26 Cents in Block 3 und auf 17 Cents in Anordnung 4). (Elektrophysiologischer Indikator: große Amplitudendifferenz zwischen dem ‚negative shift‘ und dem Standard-Vergleichs-Potential, Latenzbereich 2).
Bei indischen Musikern hatte die beobachtete P300-Komponente - unter Annahme eines kulturspezifischen Hörverhaltens, das auf internalisierten Skalenmodellen basiert - außerdem dazu Anlaß gegeben, Dur-Ton 6 in Versuchsblock 1 als ‚samvadi-Ton‘ zu interpretieren.¹
6. Perzeption und Apperzeption des Tonleiter-Gebildes als *Pattern* bzw. als ‚Gestalt in der Zeit‘².
(Bioelektrischer Indikator: hochamplitudige P3-Komponente der deutschen Probanden nach Abschluß des Achtton-Musters; kleinere P3-Amplitudenwerte in den ERP-Kurven der türkischen Versuchsteilnehmer; fehlende P3-Reaktion im Spannungsverlauf der indischen Musiker aufgrund einer - aus kultureigener Sicht - unvollständigen, d.h. ausschließlich aufwärtsgerichteten Skalenpräsentation (‚arohana‘-Bewegungsform anstelle der Kombination aus ‚arohana‘ und ‚avarohana‘).
7. Eine *Konfundierung* von zwei oder mehreren der aufgeführten Hörstrategien konnte weder für deutsche Probanden noch für ‚non-westerner-Versuchsgruppen‘ aus entsprechenden Komponentenreaktionen hergeleitet werden. Eine Ausnahme bildet die unter Punkt 5 dargestellte, ausschließlich für die deutschen Teilnehmer geltende Vermengung der Wahrnehmungsprinzipien ‚kontextuelles Hören‘ und ‚categorical perception‘ (Tonstufe 6, Block 1, 3 und 4).

¹ dazu auch Fußnote 1, S. 106, diese Arbeit.

² R. Verleger *Die P3-Komponente im EEG*, Diss. 1986, S. 71.

Aus der visuellen Durchsicht der ERP-Kurven konnte ebenfalls nicht auf einen augenfälligen und systematischen ‚intra- oder inter-block-bezogenen‘ *Wechsel* von Perzeptionsstrategien in aufeinanderfolgenden Versuchsblöcken geschlossen werden.

Im Zusammenhang mit den sechs, aus dem Amplitudenverhalten von P300-Komponente und Verarbeitungsnegativität hergeleiteten Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprinzipien stellt sich die Frage, ob eine Hörstrategie, die bei zwei oder gar allen drei Kulturgruppen festgestellt werden konnte (‚categorical perception‘, tetrachordbezogenes Hören, kontextuelles Hören, ‚pattern perception‘), als allgemeingültiger Mechanismus bzw. *universales* Prinzip bezeichnet werden kann.¹

Die Ergebnisse meiner Untersuchung haben zu diesem Punkt gezeigt, daß *keine* der sechs dargestellten Hörarten von der Wirksamkeit des Faktors ‚kulturelle Prägung‘ ausgenommen ist. Demnach wäre es falsch, in bezug auf die unter Punkt 1 bis 6 aufgeführten Wahrnehmungs- bzw. Verarbeitungsstrategien von einer ausschließlichen Gültigkeit des universalen Prinzips bzw. des kultur-übergreifenden Gedankens zu sprechen. Der Einfluß der ‚kulturellen Prägung‘ auf die Perzeption und Apperzeption von Tonleitern ist bei folgenden Hörvorgängen besonders deutlich:

- a) Er macht sich bei non-westerner-Berufsmusikern im Bereich der kategorialen Wahrnehmung als Zuordnung von Standard- und Deviant-Tonhöhenempfindungen zu zwei separaten Wahrnehmungskategorien *bei enger gezogenen Kategoriengrenzen* bemerkbar.
- b) Das funktionsharmonische Hören der deutschen Probanden wiederum ist durch den täglichen Gebrauch von Kadenzmodellen und die zur Analyse von Kompositionen häufig herangezogene Riemann'sche Funktionstheorie erklären.
- c) Leittöniges Denken und d) tetrachordbezogenes Hören ergeben sich aus den kulturbedingten und früh erlernten Hörgewohnheiten, die mit den *strukturellen* Merkmalen des kultureigenen Tonleitermaterials in Zusammenhang stehen.
- e) Die fehlende P3-Reaktion der indischen Versuchsteilnehmer bei einer nur

¹ vgl. die Anmerkungen zur sog. ‚Universalienfrage‘ (S. 101ff, diese Arbeit) bzw. die vom Standpunkt des Kulturrelativismus aus formulierte Hypothese H1 (S. 132).

aufwärtsgerichteten Skalen-Bewegungsform ist auf die überlieferten spielpraktischen Gewohnheiten der indischen Musiker zurückzuführen.

Zur Feststellung von A. Schneider:

Als universal gelten die Prinzipien der Kategorienbildung, der Klassifizierung von Objekten aus Objektmengen nach Kriterien der Ähnlichkeit, ..., die Beachtung der Struktur von Gebilden und die Erfassung elementarer Gestalten in der Wahrnehmung..¹

wäre demnach anzumerken, daß die Gültigkeit von universalen Prinzipien wie der ‚Kategorienbildung‘ per se stets nur in Zusammenhang mit kulturbedingtem Material gegeben ist (durch eine Gerichtetheit der selektiven Aufmerksamkeit auf die ‚stoffliche‘, offensichtlich stets *kulturgeprägte* Komponente (hier: Tonleiterformen)).

Folglich ist von einem *wechselseitigen Bezug* zwischen universalen Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprinzipien auf der einen Seite und der Materialstruktur auf der anderen Seite resp. von einer Modifikation kognitiver Informationsverarbeitungsvorgänge durch kulturspezifische ‚hardware‘ (Klangeindrücke, Partituren) auszugehen.

Zur Interaktion zwischen dem Akt des Perzipierens und dem wahrnehmbaren Gegenstand ist bei L. Eckensberger Folgendes zu lesen:

Die Annahme kulturtypischer Manifestationen von theroretischen Konzepten legt ... eine Unterscheidung von Konstrukten in Strukturen und Prozesse nahe ... die inhaltliche Begründung für die Grundannahme der transkulturellen Gültigkeit psychologischer Konstrukte bezieht sich im wesentlichen auf *Prozesse*, z.B. auf Lernvorgänge, affektive und motivationale Mechanismen und auf kognitive Strukturbildungen, die Formulierung ihrer kulturtypischen Manifestationen hingegen bezieht sich mehr auf *Strukturen*, d.h. Inhalte.²

Zum Zusammenhang zwischen Inhalt/Struktur und Perzeptions- bzw. Apperzeptionsvorgängen hatte sich auch der Kognitionspsychologe D. L. Harwood geäußert. Er schreibt:

A search for universals cannot usefully focus on musical content ... Rather, we should direct our attention to how music is made - how it is performed, heard, understood, and learned. The *process* of understanding and participating in the musical behaviour of one's community may be more universal than *what* is to be understood or performed.³

¹ A. Schneider *Tonhöhe Skala Klang*, 1997, S. 70f.

² L. Eckensberger *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, 1970, S. 15; kursiv im Original.

³ D. L. Harwood „Contributions from psychology to musical universals“, *The world of music* 21, S. 51; nicht kursiv im Original.

Kommt man in diesem Zusammenhang auf den Untersuchungsgegenstand der Arbeit zurück, so kann aufgrund der wechselseitigen, durch die ERP-Indikatoren ‚Verarbeitungsnegativität‘ und ‚P300‘-Komponente nachgewiesene Bedingtheit von Materialstruktur und kognitiven Informationsverarbeitungsvorgängen also weder der universale Ansatz noch eine strenge kultur-relativistische Sicht, wie sie in der statistischen Hypothese der Arbeit zum Ausdruck gebracht wurde¹, in ihrer reinen Form aufrechterhalten werden.

¹ H1: Tonleitern von unterschiedlicher Struktur werden von deutschen, türkischen und indischen Musikern unterschiedlich wahrgenommen und kognitiv verarbeitet. P300-Reaktionen von Teilnehmern der drei Kulturgruppen sind voneinander verschieden.

7.3. Zum Zusammenhang zwischen den Faktoren ‚Stimulus-Vertrautheit‘, ‚Akkulturation‘, ‚reziproke Präsentationsform‘ und den Reaktionen ‚P3‘ bzw. ‚Verarbeitungsnegativität‘

Bereits vor einigen Jahren konnte die allgemeine Vermutung bestätigt werden, daß die Variable ‚Vertrautheit (familiarity) mit dem Reizmaterial‘ eine modifizierende Wirkung auf hirnpfysiologische Reaktionen habe.

M. Besson und F. Faita hatten diesbezüglich großamplitudige ‚positive shifts‘ beobachten können, wenn musikalische Erwartungen in bezug auf einen passenden Finalton in *vertrautem* im Vergleich zu einem *unbekanntem* melodischen Kontext verletzt wurden.

Des weiteren wurden von R. Verleger und D. Schellberg DC-Potentiale mit Maximalamplituden gemessen, wenn *bekannte* Melodie-Beispiele auf die rhythmische Information reduziert worden waren und sich folglich mit größerer Anstrengung (‚effort‘) identifizieren ließen.¹

Als Erklärung für die durch den Faktor ‚Vertrautheit mit dem Reizmaterial‘ beeinflusste hirnelektrische Reaktion kam in beiden Beispielen die Ausprägung einer ‚memory trace‘ bzw. einer mentalen Repräsentation im Langzeitgedächtnis in Betracht.

Auch in der vorliegenden Potential-Untersuchung zum perzeptiv-apperzeptiven Verhalten von drei verschiedenen Kulturgruppen wurde die Amplituden-Größe *beider* ERP-Komponenten - sowohl der P3-Welle als auch der Verarbeitungsnegativität - durch die Variable ‚Stimulus-Vertrautheit‘ modifiziert (vgl. hierzu auch S. 260 bis 268).

Hierbei ließen sich ganz allgemein drei Varianten voneinander unterscheiden:

a) Sowohl die Standard-Skala als auch die Deviant-Skala ist den Versuchsteilnehmern vertraut; ein Revidieren bzw. ein ‚context updating‘ von gespeicherten Tonleiter-Repräsentationen - indiziert durch die Ausprägung einer P3 - ist somit nicht erforderlich (vgl. Block 2 (Dur vs. harmon. Moll); Reaktion der dt. Vpn auf Dur-Ton 3 und Moll-Ton 3; Abb. 62).

b) Einem bekannten Standard-Skalenton wird ein fremdartiger Klangeindruck außerhalb der im Langzeitgedächtnis gespeicherten kategorialen Tonhöheninformation gegenübergestellt.

¹ vgl. hierzu M. Besson/F. Faita ‚ERPs and musical expectancy‘ S. 1279ff sowie R. Verleger/D. Schellberg ‚Slow potentials in a melody recognition task‘, S. 240.

Seine Perzeption und Identifikation ist mit einem großen Verarbeitungsaufwand verbunden; bioelektrischer Hinweis ist eine negative Potentialverschiebung mit großer Amplitude (vgl. Block 1 ‚Dur vs. Thai‘; Reaktion dt. Vpn auf Dur-Ton 3 und Thai-Ton 3; Abb. 54).

c) Mit dem Standard- und dem Deviant-Reiz liegt zweifach unbekanntes Tonmaterial vor; es bildet sich ein doppelter negativer Potentialanstieg als Zeichen für einen großen Verarbeitungsaufwand aus (vgl. Block 3 ‚makam Hicaz vs. Thai-Tonleiter‘; Reaktion dt. Vpn und ind. Vpn auf Hicaz-Ton 2 und Thai-Ton 2).

Untersucht man im besonderen die ERP-Reaktionen der seit mehr als neun Jahren in Deutschland lebenden türkischen Probanden, so ist bei der Interpretation ihrer Potentialkurven der Effekt des Konzepts ‚*Akkulturation*‘¹ in Hinblick auf eine Modifizierung des Faktors ‚Skalenvertrautheit‘ zu bedenken.

Anhand von ‚*Akkulturation*‘ läßt sich z.B. der Sachverhalt erklären, weshalb türkische Musiker in Versuchsanordnung 4 (Dur-Tonleiter vs. makam Hicaz) eine P3-Komponente an allen drei Elektrodenpositionen als Reaktion auf den dritten Ton der originären, internalisierten Hicaz-Skala ausprägen: Türkische Probanden scheinen die Synthesizer-Fassung des ‚hauseigenen‘ makam Hicaz (Klangfarbe: ‚SynPulse 2‘) offenbar als weniger vertraut im Vergleich zu derjenigen der durch *Akkulturation* angeeigneten Dur-Skala zu empfinden.

Da die Variable ‚Skalenvertrautheit‘ demnach mit dem Faktor ‚*Akkulturation*‘ konfundiert ist, wäre es meiner Ansicht nach zu unscharf und unpräzise gewesen, das ‚Vertrautheits-Kriterium‘ in die Ausgangs-Hypothese dieser Untersuchung (Wahrnehmungs-(und P3-)Verhalten von Türken, Indern und Deutschen) mit einzubeziehen.

Greift man zum Abschluß den Aspekt ‚*reziproker Stan-Dev-Modus*‘ bzw. ‚Umkehrung der Dur-Thai-Präsentationshäufigkeit‘ auf und vergleicht die ERP-Reaktionen in Block 1 (Dur-Standard vs. Thai-Deviant) mit denen in Block 5 (Thai-Standard vs. Dur-Deviant), so wirkt sich diese Art der ‚Permutation‘ in Hinblick auf Komponentenausprägungen nur geringfügig aus: Zwar bilden deutsche Musiker in stärkerem Maße als in Skalenblock 1 einen doppelten

¹ Der Begriff ‚*Akkulturation*‘ wird in Fußnote 2 auf S. 125 definiert.

großamplitudigen ‚negative shift‘ für den Thai-Standard- und für den Dur-Deviant-Ton aus, wenn sie an ‚Schaltstelle‘ 2 (Skalenton 2) erstmals die verschiedene Struktur der präsentierten Tonleitern bemerken und identifizieren sollen.

‚Context updating‘- (‚Revisions‘) -Vorgänge hingegen, die sich elektrophysiologisch stets in einer P3-Komponente abbilden, werden durch den Faktor ‚Permutation der Stan-Dev-Konstellation‘ (Block 5) nicht verändert.

7.4. Anmerkungen zur Validität des durchgeführten ERP-Experiments

Obwohl moderne nicht-invasive Methoden der Hirnforschung gegenüber der ‚Befragung‘, dem ‚Semantischen Differential‘ (Polaritätsprofil) oder anderen deskriptiven Verfahren der Datenerhebung den entscheidenden Vorteil haben, Daten in einer objektiven und prä-verbalen Form gewinnen zu können, sind sie anderen Testmethoden in Hinblick auf ‚Meßgüte‘, d.h. das Einhalten der Kriterien ‚Reliabilität‘ und ‚Validität‘ unterlegen, so daß dieser Aspekt in Publikationen im Rahmen des Fachgebietes ‚cognitive neurosciences‘ zumeist ausgeklammert wird.

Zur *Reliabilität* von ereigniskorrelierten Potentialergebnissen ist zunächst allgemein festzustellen, daß die *konstante* Ausprägung von personenbezogenen Variablen (‚Lerneffekte‘, ‚Habituation‘, ‚Motivation‘, ‚Aufmerksamkeit‘ oder der ‚generelle Wachzustand‘ (‚Vigilanz‘)) bei der Wiederholung eines Versuchsblockes nicht garantiert werden kann.

Im Hauptversuch der vorliegenden kulturvergleichenden ERP-Studie wurde aus zeitlichen und aufwandstechnischen Gründen auf eine Replikation der Meßresultate mittels Paralleltest (‚Test-Retest-Methode‘¹) verzichtet; Aussagen zur Korrelation zwischen einer Erst- und einer Zweit-Messung sind somit nicht möglich.

Das zweite Meßgüte-Kriterium ‚Validität‘ (in interner und externer Form) steht in dieser Untersuchung gleich zweimal zur Diskussion. Grund ist a) die inhaltliche Fragestellung und b) das verwendete Paradigma (‚oddball‘).

¹ Hierzu auch G. und H. Sprung *Grundlagen der Methodologie*, S. 177f.

Intern valide, so beschreibt es J. Bortz allgemein, ist eine Untersuchung dann, „wenn ihre Ergebnisse eindeutig interpretierbar sind. Die interne Validität sinkt mit wachsender Anzahl plausibler Alternativerklärungen für die Ergebnisse.“¹

Überträgt man diese Definition auf den Bereich der kulturvergleichenden Forschung (a), so ist zunächst anzumerken, daß der Faktor ‚Kultur‘, der in der Literatur zumeist als unabhängige Variable dargestellt wird, per se ein Konglomerat aus verschiedenen Komponenten ist (‚Herkunft‘, ‚Schulbildung‘ etc.) und darüber hinaus mit anderen unabhängigen Variablen zusammenhängt (Bsp. ‚klimatische Bedingungen‘, ‚Kontakt mit der westlichen Zivilisation‘). Die ‚Fremdvarianz‘ (d.i. derjenige ‚Varianzanteil, ... der durch mögliche andere systematische Einflüsse auf die abhängige Variable entstehen kann‘²) ist folglich groß, eine eindeutige kausale Beziehung zwischen einer ERP-Welle und einem spezifischen Bestandteil der Variablen ‚Kultur‘ nicht möglich.

Ist ‚interne Validität‘, alles in allem, als ein wichtiges Kriterium zur Feststellung der Aussagekraft von Untersuchungsergebnissen aufzufassen, so können Resultate der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘ hiermit insgesamt also weniger verlässlich beschrieben und bewertet werden als Ergebnisse aus anderen Forschungsbereichen.

Eckensberger schreibt zu diesem Punkt: „Aus dem relativ niedrigen experimentellen Niveau der möglichen Pläne im Kulturvergleich läßt sich ableiten, daß man bei der Frage nach der internen Validität dieser Pläne auf große Schwierigkeiten stößt.“³

Ein weiterer, die interne Validität der vorliegenden Untersuchung beeinträchtigender Sachverhalt stellt die Verwendung des klassischen oddball-Paradigmas dar, das in zahlreichen Forschungsplänen zur kognitiven Neuropsychologie zum Einsatz kommt. Auch hier kann sich - bedingt durch die ungleiche Stimulus-Präsentationsrate - der durch die unabhängige Variable ‚subjektive Wahrscheinlichkeit‘ ausgelöste Effekt mit demjenigen, verursacht durch die inhaltliche Struktur-Komponente vermengen, so daß eine ERP-Komponente - hier: die

¹ J. Bortz *Lehrbuch der empirischen Forschung. Für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer, 1984, S. 29; eine ähnliche Definition gibt L. Eckensberger: „‚Interne Validität‘ bezieht sich ... auf die Frage, wie vollkommen ein [Forschungs-]Plan in der Lage ist, die Entscheidung zu gewährleisten, ob wirklich die unabhängige Variable (x) einen ‚Effekt‘ auf die abhängige Variable (y) hatte, oder ob der Plan die Annahme anderer Einflüsse (x1xn) zuläßt.“ (*Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*, S. 34).

² ebd., S. 81.

³ loc.cit.

„P300“ bzw. die „Verarbeitungsnegativität“ - dem originären Faktor nicht eindeutig zugeordnet werden kann.

NB: Fragt man in diesem Zusammenhang nach dem Sinn von ereigniskorrelierten Potentialmessungen und der Qualität des Meßinstruments per se, so haben ERP-Resultate allgemein die Bedeutung, Aufschlüsse über nicht direkt meßbare kognitive Verarbeitungsvorgänge zu geben, dergestalt, daß einer ERP-Komponente die Funktion eines Indikators für kognitive Konstrukte und Konzepte zukommt.

Die Etablierung des Faches „kognitive Psychophysilogie“ um 1965¹ und die immer kürzer werdenden Publikationsabstände sprechen für sich, so daß die Indikatorfunktion spezifischer ERP-Komponenten - etwa der „P300“ - in Hinblick auf zugrundeliegende kognitive Informationsverarbeitungsvorgänge nicht angezweifelt werden dürfte.

In bezug auf das Meßgüte-Kriterium „*externe Validität*“ ist - meiner Ansicht nach - grundsätzlich davon abzuraten, induktive Schlußfolgerungen aus den in einer spezifischen Versuchskonstellation erhaltenen Resultaten vorzunehmen bzw. in ERP-Untersuchungen von einem hohen Maß an externer Validität auszugehen. Selbst geringfügige Modifikationen des Paradigmas (z.B. in Hinblick auf den Faktor „Aufmerksamkeit“ („attention“ vs. „ignore condition“)) können bei ansonsten vergleichbaren Versuchsbedingungen zu verschiedenen ERP-Resultaten (Ausprägung einer P3 *oder* einer MMN-Komponente) führen.

In diesem Sinne wird in der vorliegenden kulturvergleichenden ERP-Untersuchung auf die Übertragung (Generalisierung) der ERP-Befunde und ihrer Deutung auf ähnliche Sachverhalte verzichtet.

Das heißt konkret: Die bioelektrischen Ergebnisse zur Perzeption des verschieden strukturierten Tonleitermaterials - „P300“ und „Verarbeitungsnegativität“ - gelten

- a) ausschließlich für die drei ausgewählten Kulturgruppen (deutsche, türkische und indische Musiker)
- b) sie beziehen sich nur auf die verwendeten Skalenarten (Dur und harmonisch Moll, makam Hicaz und äquiheptatonische Thai-Tonleiter) sowie

¹ 1965: Entdeckung der „P300“, Sutton und Mitarbeiter; 1964: Entdeckung des „Bereitschaftspotentials“, Deecke und Mitarbeiter.

c) auf eine artifizielle Situation, in einem in Hinblick auf elektrostatische, elektromagnetische und hochfrequente Felder ausgetesteten Labor.

Die gewonnenen ERP-Resultate lassen sich damit nicht auf folgende Populationsgruppen und Stimulusformen ausweiten: a) auf Nicht-Musiker sowie potentielle Probanden aus anderen Musikkulturen sowie b) auf musikalisches Reizmaterial von komplexerer Struktur (Bsp.: ‚ragas‘ oder ausgezierte türkisch-arabische Melodiemodelle).

Zusätzlich zu den Meßgüte-Kriterien der allgemeinen Art (‚Reliabilität‘, ‚interne und externe Validität‘) ist in experimentellen Untersuchungen mit speziell kulturvergleichender Fragestellung die Gültigkeit eines weiteren Faktors zu prüfen: Es ist die sog. ‚konzeptuelle Äquivalenz‘¹, d.h. die Annahme, daß jeder Proband der Testsituation, dem Reizmaterial sowie den in den Instruktionbögen verwendeten musikalischen Fachausdrücken interkulturell die gleiche oder eine gleichwertige Bedeutung beimißt (bezeichnet auch als ‚situative Äquivalenz‘, ‚Reizäquivalenz‘ sowie ‚Aufgaben-‘, bzw. ‚sprachlich-begriffliche Äquivalenz‘). In Hinblick auf die vorliegende Untersuchung scheinen die drei genannten Ausprägungen des Äquivalenz-Kriteriums erfüllt zu sein:

1. Da kein Proband zuvor an einer EEG-/ERP-Messung teilgenommen hatte, war die artifizielle Laboratmosphäre für jeden Teilnehmer gleichermaßen neu; der Fremdheitscharakter der Testsituation demzufolge vergleichbar. (Situative Äquivalenz war gegeben.)
2. Das verwendete heptatonische Tonleiter-Muster war den deutschen, indischen und türkischen Musikern als Grundgerüst und Ordnungsprinzip in gleicher Weise vertraut. (Das Kriterium der ‚Reizäquivalenz‘ war erfüllt.²)
3. In den ausgefüllten Frage- und Aufgabenbögen (deutsche und englische Ausführung; Zählen der devianten Skalen; Notation der Tonleiterstruktur) konnten keine entscheidenden Verständnisfehler festgestellt werden. (Der Sachverhalt der ‚sprachlich-begrifflichen Äquivalenz‘ traf ebenfalls zu.)

¹ dazu S. 96f.

² Indische Versuchspersonen hatten - in Ergänzung hierzu - auf die in der indischen Musik üblichen mikrotonalen Umspielungen spezieller Tonleiter-Töne in Form sog. ‚gamakas‘ aufmerksam gemacht; vgl. Fußnote 3, S. 137.

7.5. ERP-Meßtechnik und -Versuchsparadigmen:

Vor- und Nachteile

1. per se

2. aus Sicht der Kulturvergleichenden Psychologie

7.5.1.1. Ereigniskorrelierte Potentialmessungen:

Vorteile der Meßmethode ganz allgemein

1. Der Vorteil von ereigniskorrelierten Potentialmessungen besteht darin, Vorgänge der Wahrnehmung und Informationsverarbeitung durch direkten und unverfälschten Zugriff auf hirnelektrische (-elektrische) Aktivität untersuchen zu können, ohne auf rein verbal-deskriptive Antworten von Versuchspersonen als einzige Quelle des Verhaltens zurückgreifen zu müssen. D. Cohen schreibt hierzu:

ERP is more objective than the verbal method and provides details about brain responses that we could not possibly have obtained from verbal responses.¹

2. Innerhalb einer Sequenz von positiven und negativen Halbwellen wurden zudem elektro-physiologische Komponenten entdeckt, in denen sich kognitive Verarbeitungsvorgänge abbilden, die mit verbalen Datenerhebungsverfahren *nicht* erfaßt werden können, da sie automatisch und vor-bewußt, während einer sogenannten ‚ignore condition‘ ablaufen.²

Wortlaut von Näätänen und Winkler:

... some ERP components (e.g., N1, MMN) index *preattentive* central processes that cannot be directly addressed by behavioral measures.³

Ähnliches ist auch bei D. Cohen et al. zu lesen:

In addition, unlike the verbal method, which represents the final output of processing the recorded stimulus, the ERP method uncovers intermediate stages of perception that precede the verbal report. Each stage may relate to a different aspect of the perceived stimulus.⁴

¹ D. Cohen et al. „Cognitive meanings of musical elements“, S. 154.

² vgl. E. O. Altenmüller „Psychophysiology and EEG“, S. 600.

³ R. Näätänen/I. Winkler „The concept of auditory stimulus representation ...“, S. 850, nicht kursiv im Original.

⁴ D. Cohen et al. a.a.O., S. 154.

3. Ein weiterer Vorteil der ERP-Methode liegt darin, reizkorrelierte Spannungsschwankungen mit einer hohen zeitlichen Auflösung im Millisekund-Bereich messen zu können, auf diese Weise sind genaue Rückschlüsse über den Beginn und den zeitlichen Verlauf der zugrundeliegenden perzeptiven und kognitiven Prozesse möglich.
4. Im Unterschied zur MEG-Technik (Ermittlung von ereigniskorrelierten *Magnetfeldern*) können mit ERP-Messungen nicht nur tangential zur Schädeloberfläche ausgerichtete Generatorquellen, sondern auch solche mit radialer Ausrichtung lokalisiert werden. Riitta Hari schreibt zum präzisen ‚Orten‘ von intracranialen Generatoren:

MEG detects accurately superficial tangential currents, whereas EEG is sensitive to both radial and tangential current sources and also reflects activity of the deepest parts of the brain.¹

7.5.1.2. Nachteile und ‚constraints‘ bei ERP-Messungen:

Die Nachteile des Meßverfahrens beziehen sich im wesentlichen auf zwei Aspekte:

1. auf die Mittelungstechnik per se sowie 2. auf den Umstand, bei der Wahl der ERP-Versuchparadigmen auf einige wenige vorgegebene Formen festgelegt zu sein.

Zu Punkt 1:

Ein einzelner Reiz hat eine einzelne Potentialkurve als stimuluskorrelierte, bioelektrische Antwort zur Folge. Ein artefaktfreier Spannungsverlauf dieser Art wird dennoch keiner Einzelpotentialanalyse unterzogen. Er ist lediglich ‚Rohstoff‘ für das in der Potentialforschung verwendete Mittelungsverfahren, mit dem quasi-homogene, jeweils eine Spannungskurve enthaltende Registrierabschnitte von einer oder von gleich mehreren Probanden zusammengefaßt werden (Mittelungsergebnis in Fall 2: ‚grand average‘ oder ‚Summenkurve‘). Individuelle hirnelektrische Reaktionen, die mit unterschiedlichen psychischen Zuständen des Probanden verbunden sein können (Aufmerksamkeitsschwankungen, Habituation) gehen in diesem traditionellen Mittelungs-Procedere also verloren.

¹ R. Hari ‚Magnetoencephalography as a tool ...‘, S. 1036.

Mittelung (signal averaging) bedeutet also zugleich Glättung oder Nivellierung; das Kriterium der ‚Invarianz‘, d.h. das Zusammenfassen von in sich homogenen Meßstrecken - in Hinblick auf den psychischen Zustand der Versuchsperson(en) - kann als Voraussetzung für aussagekräftige und reliable Mittelungsergebnisse in der Meßpraxis nicht konsequent eingehalten werden.

Der Sachverhalt ist ein methodisches Grundsatzproblem der ERP-Meßmethode. Er stellt eine nicht zu umgehende Fehlerquelle dar (vgl. Kap. 7.4.).

Zu Punkt 2:

1. Eine weitere Fehlerquelle in der ereigniskorrelierten Potentialforschung ist ‚paradigma-bedingt‘. Sie ergibt sich aus der oddball-Idee per se und betrifft in der Hauptsache Experimente zur Untersuchung der P3-Komponente.

Wird ein klassisches ‚oddball‘-Design verwendet, so liegt stets eine ungleiche Anzahl von Standard- und Deviant-Reizen vor (Relation: 0.8 : 0.2 bzw. 0.75 : 0.25); dabei geht die objektiv ‚verschobene‘ Stimulusrate mit einer unterschiedlichen Ausprägung der Variablen ‚subjektive Wahrscheinlichkeit‘ - d.h. mit einer unterschiedlichen Erwartungshaltung der Probanden den Reizen gegenüber - einher.

Der ‚design-bedingte‘ Sachverhalt führt bei der Interpretation zu einer Ambiguität: Amplitudenwerte der P3-Komponente lassen sich nicht eindeutig auf Veränderungen von nur *einer* unabhängigen Variablen zurückführen; auch für die P3-Amplitudenwerte des dargestellten ERP-Versuchs gibt es zwei Deutungsmöglichkeiten: P3-Resultate können mit inhaltsbezogenen Variablen (hier: der ‚Skalen-Struktur‘) erklärt werden, auf der anderen Seite kann die paradigmabedingte Variable ‚subjektive Wahrscheinlichkeit‘ für Amplitudenausprägungen ebenso verantwortlich sein. Vermengungen der inhaltlichen Komponente mit dem Faktor ‚subjektive Wahrscheinlichkeit‘ lassen sich in keiner, auf dem oddball-Konzept basierenden ERP-Untersuchung umgehen; für das oddball-Paradigma ist das Prinzip ‚Konfundierung‘ (‚confounding of independent variables‘) demnach charakteristisch.

Darüber hinaus sind beim Entwurf eines ERP-Versuchskonzepts weitere eingrenzende Umstände zu bedenken.

So geht

- a) ereigniskorrelierte Potentialforschung traditionell von der Prämisse einer *seriell* (*sequentiell*) ablaufenden Informationsverarbeitung verbunden mit einer *Reihung* der als Indikator dienenden ERP-Komponenten aus. Mögliche *Überlagerungen* (Superpositionen) von ERP-Kurven, die Rückschlüsse auf ein Vorhandensein von *parallel* verlaufenden kognitiven Prozessen zulassen, wurden - meines Wissens - mit der herkömmlichen ERP-Meßtechnik bislang nicht analysiert.
- b) Ein weiterer Nachteil bei der experimentellen Durchführung von ERP-Versuchen stellen strenge Design-Vorgaben und der festgelegte Ablauf bei der Reizpräsentation dar. Der methodische Zwang besteht darin, dem Probanden lediglich einfache, synthetisch generierte und *häufig repetierte* Stimuli in einer artifiziellen Laborsituation vorspielen zu können (Beispiele: Clicks, Sinustöne, einfache Tonfolgen). Reihungen von Klängen mit einem höheren Spektralgehalt - unter Berücksichtigung des Faktors ‚Klangfarbe‘ - sind demgegenüber mit Schwierigkeiten bei der Auswertung und Interpretation der ERP-Ergebnisse verbunden. Ausschnitte aus komplexen *mehrstimmigen* Instrumentalwerken konnten als Reizmaterial für ERP-Versuche ebenfalls bislang nicht verwendet werden.
- c) Des weiteren ist die Aussagekraft von ERP-Resultaten durch geringe Vergleichbarkeit und empirische Generalisierbarkeit begrenzt.¹ Damit Potentialergebnisse aus unterschiedlichen Versuchsreihen und/oder Labors - bei einer zumeist unterschiedlichen Fragestellung - nebeneinandergehalten werden können, sollten folgende elementare Rahmenbedingungen erfüllt sein:
 - 1) Es wird die gleiche spezifische ERP-Komponente untersucht, ein identischer Latenzbereich steht zur Diskussion, 2) es liegt vergleichbares Reizmaterial vor (Akkorde oder Melodiefolgen, Einzeltöne oder Rhythmen), 3) es wird von identischen Elektrodenpositionierungen aufgezeichnet.
- d) Zwei Aspekte können sich ebenfalls nachteilig auf ERP-Messungen auswirken: 1) ein aus statistischer Sicht zu geringer Stichprobenumfang (von zumeist 8 bis 15 Versuchspersonen) sowie 2) ein erheblicher zeitlicher und finanzieller Aufwand, der zur Durchführung und Auswertung von ERP-Versuchsreihen erforderlich ist.

¹ dazu auch Abschnitt 4, dieses Kapitel.

7.5.2. Ist es zweckmäßig, die ERP-Meßtechnik in der kulturvergleichenden Forschung als Meßinstrument zu verwenden?

Stellt man sich die Frage, ob die ERP-Meßtechnik ein taugliches Verfahren sei, mit dem Aufschlüsse speziell zu Problemen der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘ und der ‚Vergleichenden Musikwissenschaft‘ möglich sind, so sollten auch unter diesem Aspekt die Vor- und Nachteile der Methode aufgelistet werden.

Der Vorteil der ereigniskorrelierten Potentialforschung besteht - wie bereits unter Punkt 1a) aufgeführt - in der Hauptsache darin, direkten Zugriff auf hirnelektrische Reaktionen von Probanden der verschiedenen Kulturen zu haben. Verbale und oftmals schwierig zu klassifizierende Äußerungen von ‚non-westerners‘ können somit als Daten-Quelle entfallen. Vom Prinzip her ist es anhand von ERP-Messungen also möglich, kulturäquivalentes und interkulturell vergleichbares Datenmaterial zu erhalten - ein Sachverhalt also, im Einklang mit den Zielsetzungen der ‚Kulturvergleichenden Psychologie‘, die - von ihrem Grundsatz her - um Konstruktion von sog. ‚culturally fair‘-Tests bemüht ist (dazu S. 94ff dieser Arbeit). Dennoch wäre es falsch, die ERP-Meßmethode ohne jedwede Einschränkung als ein modernes ‚Nonplusultra‘-Verfahren zur Untersuchung von Hypothesen der kulturvergleichenden Forschung zu bezeichnen. Hierfür gibt es zwei Gründe:

1. Infolge des methodisch bedingten Zwanges, häufig repetierte, einfache und zumeist synthetisch generierte Stimuli in einer artifiziellen Laborsituation vorgeben zu müssen,¹ wird bei Anwendung der ERP-Meßtechnik das für den ‚cross-cultural‘-Ansatz wichtige *soziale Umfeld* der untersuchte(n) Fremdkultur(en) ausgeklammert. Somit ist anzunehmen, daß von seiten der kulturvergleichenden Forschung der Vorwurf einer einseitigen, *eurozentrischen* Denkweise gegen die im Rahmen des oddball-Designs notwendige Untersuchungssituation erhoben wird.

¹ Der Trend in der heutigen Forschungspraxis geht allerdings dahin, trotz eines erheblichen Zeit- und Kostenaufwands experimentelle Messungen ‚vor Ort‘, im jeweiligen Herkunftsland der Probanden vorzunehmen; dazu z.B. der Beitrag von S. Arom et al. ‚Experimental ethnomusicology: an interactive approach to the study of musical scales‘ in: I. Deliège/J. Sloboda *Perception and cognition of music*, 1997, S. 3 - 30.

2. In bezug auf das Reizmaterial ist es überdies schwierig, im Sinne der Test-Vorbedingung ‚konzeptuelle Äquivalenz‘ bedeutungsgleiche, ‚culturally faire‘ akustische Stimuli für sämtliche Versuchspersonen aus verschiedenen Kulturen zu konstruieren (vgl. S. 96f). Um in einem cross-cultural-ERP-Experiment eine kleinste gemeinsame Basis, einen ‚minimalen Konsens‘ in Hinblick auf das Tonmaterial herzustellen, kann zwar davon ausgegangen werden, daß musikalisch geschulte Probanden aus Westeuropa die Präsentation von obertonarmen, synthetisch generierten Tönen gutheißen. Bei ‚non-westerner‘-Versuchsgruppen kann eine Akzeptanz gegenüber derartigen synthetischen ‚Hauptnenner‘-Reizen jedoch keinesfalls als selbstverständlich vorausgesetzt werden.¹

Ungeachtet der hier explizit genannten Einschränkungen bleibt festzuhalten, daß mit der Aufzeichnung von reizkorrelierter hirnelektrischer Potentialaktivität ein Meßinstrument im Bereich der kognitiven Neuromusikologie zur Verfügung steht, mit dem sich gegenüber herkömmlichen, auf rein subjektiven Äußerungen von Probanden basierenden Erhebungsmethoden (z.B. Interviews, Fragebogentechnik) objektivere und somit zumeist tauglichere Ergebnisse erzielen lassen.

¹ vgl. auch Fußnote 1, S. 124 sowie das Zitat von Wassmann auf S. 95 dieser Arbeit.

Literatur

- Altenmüller, E. (1986). Hirnelektrische Korrelate der cerebralen Musikverarbeitung beim Menschen. *European Archives of Psychiatry and Neurological Sciences*, 235, 342-354.
- Altenmüller, E. (1993). Psychophysiology and EEG. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Hrsg.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (3rd ed., S. 597-613). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Altenmüller, E. & Beisteiner, R. (1995). Musiker hören Musik: Großhirnaktivierungsmuster bei der Verarbeitung rhythmischer und melodischer Strukturen. *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie* 12, 89-109.
- Baily, J. (1992). Music performance, motor structure, and cognitive models. In M. P. Baumann, A. Simon & U. Wegner (Hrsg.), *European studies in ethnomusicology: Historical developments and recent trends* (S. 142-158). Intercultural Music Studies 4. Wilhelmshaven: F. Noetzel.
- Baines, A. (1996). *Lexikon der Musikinstrumente*. Stuttgart: J.B. Metzler / Kassel: Bärenreiter.
- Barnea, A., Granot, R. & Pratt, H. (1994). Absolute pitch - electrophysiological evidence. *Internat. Journal of Psychophysiology*, 16, 29-38.
- Beisteiner, R. (1991). *Analytische-, Kreative- und Gedächtnisprozesse beim Hören und Verarbeiten von Musik - Eine DC-Potential-Studie*. Diss. Med. Fakultät der Universität Wien.
- Beisteiner, R. (1992). Analytische-, kreative- und Gedächtnisprozesse beim Hören und Verarbeiten von Musik - eine DC-Potential-Studie. *Wiener klinische Wochenschrift*, 104, 47-48.
- Berry, J. W. (1969). On cross-cultural comparability. *International Journal of Psychology*, 4, 119-128.
- Berry, J. W. & Sam, D. L. (1997). Acculturation and adaptation. In *Handbook of cross-cultural psychology* Vol. 3 (Hrsg. J. W. Berry, M. H. Segall & C. Kagitcibasi, S. 291-326). Boston, London: Allyn and Bacon.
- Besson, M. (1999). The musical brain: Neural substrates of music perception. *Journal of New Music Research*, 28, 246-256.
- Besson, M., Faita, F. & Requin, J. (1994). Brain waves associated with musical incongruities differ for musicians and non-musicians. *Neuroscience Letters*, 168, 101-105.
- Besson, M. & Faita, F. (1995). An Event-Related Potential (ERP) study of musical expectancy: Comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1278-1296.
- Besson, M. & Macar, F. (1987). An Event-Related Potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*, 24, 14-25.
- Beurmann, A. & Schneider, A. (1989). Probleme und Aufgaben akustisch-tonometrischer Forschung in der Vergleichenden Musikwissenschaft. *Acustica*, 69, 156-162.
- Bever, T. G. & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and non-musicians. *Science*, 185, 537-539.
- Bharucha, J. J. (1984). Anchoring effects in music: the resolution of dissonance. *Cognitive Psychology*, 4, 485-518.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (1991). *Biologische Psychologie* (2. korr. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.

- Blacking, J. (1973). *How musical is man?* Seattle, London: Univ. of Washington Press.
- Bortz, J. (1989 und 1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (3. neu bearb. Aufl. und 4. vollst. überarb. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brislin, R. W., Lonner, W. J. & Thorndike, R. M. (1973). Cross-cultural use of psychological tests. In R. W. Brislin, W. J. Lonner & R. M. Thorndike, *Cross-cultural research methods* (S. 109-142). Comparative Studies in Behavioral Science (Hrsg. R. T. Holt & J. E. Turner). New York: Wiley & Sons.
- Brix, R. (1977). Die Objektivierung akustischer und optischer Vorstellungen im Elektroenzephalogramm. *Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 217, 209-219.
- Brown, E. D. & Sechrest, L. (1980). Experiments in cross-cultural research. *Handbook of cross-cultural psychology, Vol. 2: Methodology* (Hrsg. H. C. Triandis & J. W. Berry, S. 297-318). Boston, Massachusetts: Allyn and Bacon.
- Bruhn, H., Oerter, R. & Rösing, H. (Hrsg., 1985). *Musikpsychologie: Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*. München, Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Burns, E. M. & Ward, W. D. (1982). Intervals, scales, and tuning. In D. Deutsch (Hrsg.) *The psychology of music* (S. 241-269). New York: Academic Press.
- Castellano, M. A., Bharucha, J. J. & Krumhansl, C. L. (1984). Tonal hierarchies in the music of North India. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 394-412.
- Chaitanya Deva, B. (1973). *An Introduction to Indian Music*. New Delhi: Ministry of Information and Broadcasting Government of India, Publications' Division.
- Clauß, G. & Ebner, H. (1979). *Grundlagen der Statistik für Psychologen, Pädagogen und Soziologen* (3., verb. Aufl.). Thun, Frankfurt/Main: H. Deutsch.
- Cohen, D. & Erez, A. (1991). Event-Related-Potential measurements of cognitive components in reponse to pitch patterns. *Music Perception*, 8, 405-430.
- Cohen, D., Granot, R., Pratt, H. & Barnea, A. (1993). Cognitive meanings of musical elements as disclosed by Event-Related-Potential (ERP) and verbal experiments. *Music Perception*, 11, 153-184.
- Cohen, D., Mendel, J., Pratt, H. & Barnea, A. (1994). Response to intervals as revealed by brainwave measurement and verbal means. *Journal of New Music Research*, 23, 265-290.
- Cohen, H., Levy, J. J. & McShane, D. (1989). Hemispheric specialization for speech and non-verbal stimuli in Chinese and French Canadian subjects. *Neuropsychologia*, 27, 241-245.
- Cooper, R., Osselton, J. W. & Shaw, J. C. (1978). *Elektroenzephalographie: Technik und Methoden* (2., durchgesehene Aufl.). Stuttgart, New York: G. Fischer.
- Cross, I., Howell, P. & West, R. (1983). Preferences for scale structure in melodic sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 444-460.
- Crummer, G. C., Hantz, E., Chuang, S. W., Walton, J. & Frisina, R. D. (1988). Neural basis for music cognition: initial experimental findings. *Psychomusicology*, 7, 117-126.
- Dalbokova, D., Kolev, P. & Kristeva, R. (1988). Selective attention in the presence of music: an Event-Related Potentials (ERP) study. *Biological Psychology*, 26, 307-319.
- Danielou, A. (1982). *Einführung in die indische Musik* (erw. Neuausg.). Taschenbücher zur Musikwissenschaft 36. Wilhelmshaven: Heinrichshofen.
- Deliège, I. & Sloboda, J. (Hrsg., 1997). *Perception and cognition of music*. Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Deregowski, J. B. (1980). Perception. *Handbook of cross-cultural psychology, Vol. 3: Basic processes* (Hrsg. H. C. Triandis & W. Lonner, S. 21-115). Boston, Massachusetts: Allyn and Bacon.

- Desmedt, J. E. (1977). Some observations on the methodology of cerebral evoked potentials in man. In J. E. Desmedt (Hrsg.), *Attention, voluntary contraction and Event-Related Cerebral Potentials* (S. 12-29). Prog. in Clin. Neurophysiol. Vol. 1. Basel, New York: Karger.
- Donchin, E. (1981). Surprise! ... Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Donchin, E., Callaway, E., Cooper, R., Desmedt, J. E., Goff, W. R., Hillyard, S. A. & Sutton, S. (1977). Publication criteria for studies of evoked potentials (EP) in man. In J. E. Desmedt (Hrsg.), *Attention, voluntary contraction and Event-Related Cerebral Potentials* (S. 1 -11). Prog. in Clin. Neurophysiol. Vol. 1. Basel, New York: Karger.
- Donchin, E. & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374.
- Dowling, W. J. (1982). Musical scales and psychophysical scales: their psychological reality. In R. Falck & T. Rice (Hrsg.), *Cross-cultural perspectives on music* (S. 20-28). Toronto: Univ. of Toronto Press.
- Duncan-Johnson, C. C. (1981). P300 latency: a new metric of information processing. *Psychophysiology*, 18, 207-215.
- Eckensberger, L. (1970). *Methodenprobleme der kulturvergleichenden Psychologie*. Schriften des sozialwissenschaftlichen Studienkreises für internationale Probleme (SSIP) e.V., Heft 8. Saarbrücken.
- Enders, B. (1988). *Lexikon Musikelektronik (2. Aufl.)*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Musik.
- Fabiani, M., Gratton, G., Karis, D. & Donchin, E. (1987). Definition, identification, and reliability of measurement of the P300 component of the Event-Related brain Potential. In P. Adeles & J.R. Jennings (Hrsg.), *Advances in Psychophysiology* (Vol. 2, S. 1-78). Greenwich: JAI Press.
- Faita, F. & Besson, M. (1994). Electrophysiological index of musical expectancy: is there a repetition effect on the Event-Related Potentials associated with musical incongruities? In I. Deliège (Hrsg.), *Kongreßbericht 3rd ICMPC - Internat. Conference for Music Perception and Cognition* (23.7. - 27.7. 1994, Liège), 433-435.
- Finkenzeller, P. (1975). Einzelzellaktivität und kortikale Gleichspannungsänderungen. In W. D. Keidel (Hrsg.), *Physiologie des Gehörs: Akustische Informationsverarbeitung* (S. 265-276). Stuttgart: Thieme.
- Födermayr, F. (1998). Universalien der Musik. In H. Bruhn & H. Rösing (Hrsg.), *Musikwissenschaft - ein Grundkurs* (S. 91-103). Reinbek b. Hamburg: rororo.
- Forssmann, W. G. & Heym, Chr. (1985). *Neuroanatomie* (4., neubearb. Aufl.). Heidelberger Taschenbücher 139. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fricke, J. P. (1968). *Intonation und musikalisches Hören*. Habil.schr. masch. Köln.
- Fröhlich, W. D. (1989). *dtv-Wörterbuch zur Psychologie* (16. Aufl.). München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Gaillard, A. W. K. (1988). Problems and paradigms in ERP research. *Biological Psychology*, 26, 91-109.
- Handel, St. (1989). Phonemes: notes and intervals. In St. Handel, *Listening: an introduction to the perception of auditory events* (S. 265-319). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Hantz, E. C., Crummer, G. C., Wayman, J. W., Walton, J. P. & Frisina, R. D. (1992). Effects of musical training and absolute pitch on the neural processing of melodic intervals: a P3 Event-Related Potential study. *Music Perception*, 10, 25-42.

- Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Kananen, W. & Swartz, K. P. (1997). Neural responses to melodic and harmonic closure: An Event-Related Potential study. *Music Perception*, 15, 69-98.
- Hari, R. (1993). Magnetoencephalography as a tool of clinical neurophysiology. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Hrsg.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (3rd ed., S. 1035-1061). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Hartfiel, G. & Hillmann, K.-H. (1982). *Wörterbuch der Soziologie* (3., überarb. u. erg. Aufl.). Kröners Taschenausgabe 410. Stuttgart: Kröner.
- Harwood, D. L. (1976). Universals in music: A perspective from cognitive psychology. *Ethnomusicology*, 22, 521-533.
- Harwood, D. L. (1979). Contributions from psychology to musical universals. *The world of music*, 21, 48-61.
- Helmholtz, H.v. (1863). *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig: Vieweg.
- Heyde, E.-M. (1987). *Was ist absolutes Hören?* München: Profil.
- Hillyard, S. A. & Kutas, M. (1983). Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review of Psychology*, 34, 33-61.
- Hirsch, F. (1996). *Das große Wörterbuch der Musik*. Weyarn: Seehamer.
- Hofstätter, P. R. (1975). Gestalt- und Ganzheitspsychologie. In P. R. Hofstätter, *Psychologie* (S. 155-166). Fischer-Lexikon Bd. 6. Frankfurt a. M.: Fischer.
- Hornbostel, E. M. v. (1905). Die Probleme der vergleichenden Musikwissenschaft (Vortrag, März 1905). In E. M. v. Hornbostel *Tonart und Ethos - Aufsätze zur Musikethnologie und Musikpsychologie* (Hrsg. C. Kaden & E. Stockmann, 1986, S. 40-58). Leipzig: Reclam.
- Hornbostel, E. M. v. (1923). Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören. *Psychologische Forschung Bd. 4*, 64-114.
- Huber, K. H. (1970). Rechteckgeneratoren. In K. H. Huber *Sonderschaltungen der NF-Technik Bd. II* (2. Aufl., S. 56-59). Stuttgart: Frech.
- Jairazbhoy, N. A. (1971). *The rags of North Indian music: Their structure and evolution*. London: Faber & Faber.
- Janata, P. (1995). ERP measures assay the degree of expectancy violation of harmonic contexts in music. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 153-164.
- Janata, P. & Petsche, H. (1993). Spectral analysis of the EEG as a tool for evaluating expectancy violations of musical contexts. *Music Perception*, 10, 281-304.
- Janssen, J. & Laatz, W. (1994). *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Jasper, H. H. (1958). The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 29, 306-310.
- Keidel, W. D. (1975). Allgemeine Informationsphysiologie der zentralen Hörbahn. In W. D. Keidel (Hrsg.), *Physiologie des Gehörs: Akustische Informationsverarbeitung* (S. 164-226). Stuttgart: Thieme.
- Kessler, E. J., Hansen, C. & Shepard, R. N. (1984). Tonal schemata in the perception of music in Bali and in the West. *Music Perception*, 2, 131-165.
- Kimura, D. (1964). Left-right differences in the perception of melodies. *Quart. J. Experimental Psychology*, 16, 355-358.
- Kimura, D. (1967). Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 3, 163-178.

- Klein, M., Coles, M. G. H. & Donchin, E. (1984). People with absolute pitch process tones without producing a P300. *Science*, 223, 1306-1308.
- Krumhansl, C. L. (1990). *Cognitive foundations of musical pitch*. Oxford Psychology Series Vol. 17. New York: Oxford Univ. Press.
- Kubik, G. (1996). Emics and etics: Theoretical considerations. *African Music*, 7, 3-10.
- Kutas, M., Neville, H. J. & Holcomb, Ph. J. (1987). A preliminary comparison of the N400 response to semantic anomalies during reading, listening and signing. *The London Symposia (EEG Suppl. 39)*, S. 325-330. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Kwiatkowski, G. (Hrsg., 1979) *Schülerduden Die Musik*. Mannheim: Bibliographisches Institut.
- Lach, R. (1924). *Die vergleichende Musikwissenschaft, ihre Methoden und Probleme*. Sitzungsberichte, 200, Band 5. (Hrsg. Akademie der Wissenschaften in Wien). Wien: Hölder-Pichler-Tempsky A.G.
- Levine, G. (1991). *A guide to SPSS for Analysis of Variance*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lissa, Z. (1975). Zur historischen Veränderlichkeit der musikalischen Apperzeption. In B. Dopheide (Hrsg.), *Musikhören* (S. 198 - 222). Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgesellschaft.
- Lonner, W. J. (1980). The search for psychological universals. *Handbook of cross-cultural psychology, Vol. 1: Perspectives* (Hrsg. H. C. Triandis & W. Wilson Lambert, S. 143-204). Boston, Massachusetts: Allyn and Bacon.
- Lutzenberger, W., Elbert, Th., Rockstroh, B. & Birbaumer, N. (1985). *Das EEG: Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lynch, M. P., Eilers, R. E., Oller, D. K. & Urbano, R. C. (1990). Innateness, experience, and music perception. *Psychological Science*, 1, 272-276.
- Lynch, M. P. & Eilers, R. E. (1991). Children's perception of native and nonnative musical scales. *Music Perception*, 9, 121-132.
- McAdams, S. (1989). Introduction: The many faces of human cognition in musical research and practice. *Contemporary Music Review*, 4, 1-7.
- Meyer, L. B. (1960). Universalism and relativism in the study of ethnic music. *Ethnomusicology*, 4, 49-54.
- Minow, F., Suchodoletz, W. v. & Uwer, R. (1996). Gütekriterien von Parametern der kognitiven evozierten Welle P3. *Zeitschrift Kinder-Jugendpsychiatrie*, 24, 265-271.
- Moss, E. M., Davidson, R. J. & Saron, C. (1985). Cross-cultural differences in hemisphericity: EEG asymmetry discriminates between Japanese and Westerners. *Neuropsychologia*, 23, 131-135.
- Müller, M. (1992). Kontinuität und Wandel des Kulturbegriffs in der kulturvergleichenden Psychologie. In C. G. Allesch, E. Billmann-Mahecha & A. Lang (Hrsg.), *Psychologische Aspekte des kulturellen Wandels* (S. 86-96). Wien: Verband der wiss. Gesellschaften Österreichs.
- Mundy-Castle, A. C. (1967). Psychology in Ghana: Studies of the electrical rhythms of the brain. In D. Brokensha & M. Crowder (Hrsg.), *Africa in the wider world - the inter-relationship of area and comparative studies* (S. 222-260). Oxford: Pergamon Press.
- Mundy-Castle, A. C., McKiever, B. L. & Prinsloo, T. (1953). A comparative study of the electroencephalograms of normal Africans and Europeans of Southern Africa. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 5, 533-543.

- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by Event-Related Potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 201-288.
- Näätänen, R. (1992). Attention and Event-Related Potentials. In R. Näätänen, *Attention and brain function* (S. 236-352). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Näätänen, R. & Picton, T. W. (1986). N2 and automatic versus controlled processes. *Cerebral Psychophysiology: Studies in Event-Related Potentials (EEG Suppl. 38)*, S. 169-186. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Näätänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Näätänen, R. & Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125, 826-859.
- Neel, A. F. (1969). *Handbuch der psychologischen Theorien*. München: Kindler.
- Nelson, G. K. (1964). *Race, culture and brain function*. Johannesburg: ISMA Papers, No. 20 (The institute for the study of man in Africa).
- Neuloh, G. & Curio, G. (1996). Auditorisch evozierte EEG-Potentiale als Index für cerebrale Musikverarbeitung. In *Musikpädagogische Forschungsberichte 1995* (Hrsg. H. Gembris, R.-D. Kraemer & G. Maas, S. 41-60). Augsburg: B. Wißner.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113.
- Paller, K. A., McCarthy, G. & Wood, C. C. (1992). Event-Related Potentials elicited by deviant endings to melodies. *Psychophysiology*, 29, 202-206.
- Paulus, W. (1985). *Der Einfluß musikalischer Reizqualitäten auf späte akustisch evozierte Potentiale*. Diss. Med. Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg.
- Paulus, W. (1988). Effect of musical modelling on Late Auditory Evoked Potentials. *European Archives of Psychiatry and Neurological Sciences*, 237, 307-311.
- Paulus, W. (1992). Event-Related Potentials evoked by music lack a dissonance correlate. *Psychomusicology*, 11, 152-156.
- Pawlik, K. (1974). Psychologische EEG-Forschung: Methoden, Ergebnisse, Anwendungen. In W. J. Schraml & U. Baumann (Hrsg.), *Klinische Psychologie Vol. II: Methoden, Ergebnisse und Probleme der Forschung* (S. 416-456). Bern: Huber.
- Pesch, L. (1996). *Vom Klang des Glücks: Ein Leitfaden zur Konzert-, Tanz- und Tempelmusik Südsindiens*. Amsterdam: eka grata publications.
- Petsche, H., Lindner, K., Rappelsberger, P. & Gruber, G. (1988). The EEG: an adequate method to concretize brain processes elicited by music. *Music Perception*, 6, 133-160.
- Pick, A. D. & Pick, H. L. jr. (1978). Culture and perception. *Handbook of perception, Vol. 10* (Hrsg. E. C. Carterette & M. P. Friedman, S. 19-39). New York: Academic Press.
- Picton, T. W., Woods, D. L. & Proulx, G. B. (1978). Human auditory sustained potentials. I. The nature of the response/II. Stimulus relationships. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 186-197/198-210.
- Popper, K. R. & Eccles, J. C. (1991). *Das Ich und sein Gehirn* (10. Aufl.). München: Piper & Co.
- Powers, H. S. (1980). Artikel „Mode“ in: *The New Grove Dictionary of Music and Musicians* Vol.12 (S. 376-450). London: Macmillan Publishers.

- Powers, H. S. (1981). Eastern and Western concepts of mode. *Report of the 12th Congress of the International Musicological Society*; Berkeley 1977 (Hrsg. D. Hertz & B. Wade, S. 501-549). Kassel: Bärenreiter.
- Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89, 506-540.
- Pschyrembel, W. (1982). *Klinisches Wörterbuch: mit klinischen Syndromen und Nomina Anatomica* (254., neubearb. Aufl.). Berlin, New York: W. de Gruyter.
- Reinhard, K. (1976). *Centstabelle: System Reinhard*. Beiträge zur Ethnomusikologie (Hrsg. K. Reinhard), Sonderheft. Hamburg: K. D. Wagner.
- Rieländer, M. M. (Hrsg., 1982). *Reallexikon der Akustik*. Frankfurt/Main: E. Bochinsky.
- Riemann, H. (Hrsg., 1967). *Musiklexikon Sachteil* (12., völlig neubearb. Aufl.). Mainz: Schott.
- Roederer, J. G. (1977). *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rösler, F. (1980). Statistische Verarbeitung von Biosignalen: Die Quantifizierung hirnelektrischer Signale. In U. Baumann, H. Berbalk & G. Seidenstücker (Hrsg.), *Klinische Psychologie: Trends in Forschung und Praxis* (Vol. 3, S. 112-156). Bern: Huber.
- Rösler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Lehr- und Forschungstexte Psychologie 2 (Hrsg. D. Albert, K. Pawlik, K.-H. Stapf & W. Stroebe). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rosch, E. (1975). Cognitive reference points. *Cognitive Psychology*, 7, 532-547.
- Roth, W. T., Kopell, B. S., Tinklenberg, J. R., Huntsberger, G. E. & Kraemer, H. C. (1975). Reliability of the Contingent Negative Variation and the Auditory Evoked Potential. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 38, 45-50.
- Rudolph, W. (1968). *Der kulturelle Relativismus: Kritische Analyse einer Grundsatzfragen-Diskussion in der amerikanischen Ethnologie*. Forschungen zur Ethnologie und Sozialpsychologie Band 6 (Hrsg. H. Thunwald). Berlin: Duncker & Humblot.
- Sambumoorthy, P. (1966). Technical terms. In P. Sambumoorthy, *South Indian Music, Book 1* (7th ed., S. 51-62). Madras: The Indian Music Publishing House.
- Scherg, M. (1991). *Akustisch evozierte Potentiale: Grundlagen - Entstehungsmechanismen - Quellenmodell*. Psychiatrie, Neurologie, Klinische Psychologie: Grundlagen - Methoden - Ergebnisse. Stuttgart, Berlin: Kohlhammer.
- Schmidt, R. F. (Hrsg., 1987). *Grundriß der Neurophysiologie* (6., korrigierte Aufl.). Heidelberger Taschenbücher 96. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schneider, A. (1994). Tone system, intonation, aesthetic experience: theoretical norms and empirical findings. *Systematische Musikwissenschaft*, 2, 221-254.
- Schneider, A. (1997). *Tonhöhe Skala Klang: Akustische, tonometrische und psychoakustische Studien auf vergleichender Grundlage*. Orpheus-Schriftenreihe zu Grundfragen der Musik, Bd. 89. Bonn: Orpheus.
- Schneider, A. (1997). On categorical perception of pitch and the recognition of intonation variants. In P. Pylkkänen et al. (Hrsg.), *Brain, mind and physics* (S. 250-261). Amsterdam, Oxford: IOS Press.
- Schneider, A. (1998). Über Stimmung und Intonation. *Systematische Musikwissenschaft*, 6, 27-49.

- Schneider, A. & Beurmann, A. E. (1991). Tonsysteme, Frequenzdistanz, Klangformen und die Bedeutung experimenteller Forschung für die Vergleichende Musikwissenschaft. *Hamburger Jahrbuch für Musikwissenschaft, 11*, (Die Referate des Ligeti-Kongresses Hamburg 1988; Hrsg. C. Floros, H. J. Marx & P. Petersen, S. 179-223). Laaber: Laaber-Verlag.
- Schneider, A. & Beurmann, A. (1994). Tonhöhe - Intervall - Distanz: Zur Wahrnehmung von Klängen mit inharmonischen Spektren. *Systematische Musikwissenschaft II*, 113-143.
- Schoeck, H. (1982). Soziologisches Wörterbuch. (11. Aufl.). Herderbücherei Bd. 312. Freiburg im Breisgau: Herder.
- Schubö, W., Uehlinger, H.-M., Perleth, C., Schröger, E. & Sierwald, W. (1991). *SPSS: Handbuch der Programmversionen 4.0 und SPSS-X 3.0. Autorisierte dt. Bearbeitung des SPSS reference guide*. Stuttgart: G. Fischer.
- Seeger, H. (Hrsg., 1966). *Musiklexikon in zwei Bänden*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Musik.
- Segall, M. H., Campbell, D. T. & Herskovits, M. J. (1966). *The influence of culture on visual perception*. Indianapolis: Bobbs-Merrill.
- Shepard, R. N. & Jordan, D. S. (1984). Auditory illusions demonstrating that tones are assimilated to an internalized musical scale. *Science, 226*, 1333-1334.
- Signell, K. L. (1977). *Makam: modal practice in Turkish art music*. Seattle: Asian Music Publications.
- Simon, A. (1978). Probleme, Methoden und Ziele der Ethnomusikologie. *Jahrbuch für musikalische Volks- und Völkerkunde, 9*, 8-52.
- Sloboda, J. A. (1985). The musical mind in context: Culture and biology. In J. A. Sloboda, *The musical mind: The cognitive psychology of music* (S. 239-268). Oxford Psychology Series Vol. 5. Oxford: Clarendon Press.
- Speckmann, E.-J. & Elger, Chr. E. (1982). Neurophysiological basis of the EEG and of DC Potentials. In E. Niedermeyer & F. Lopes da Silva (Hrsg.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications and related fields* (S. 1-13). Baltimore, München: Urban & Schwarzenberg.
- Spreng, M. (1975). Langsame Rindenpotentiale, objektive Audiometrie und Psychoakustik. In W. D. Keidel (Hrsg.), *Physiologie des Gehörs: Akustische Informationsverarbeitung* (S. 277-358). Stuttgart: Thieme.
- Sprung, L. & Sprung, H. (1987). *Grundlagen der Methodologie und Methodik der Psychologie: Eine Einführung in die Forschungs- und Diagnosemethodik für empirisch arbeitende Humanwissenschaftler* (2., durchgesehene Aufl.). Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Squires, N. K., Squires, K. C. & Hillyard, St. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 38*, 387-401.
- Stöhr, M. et al. (Hrsg., 1996). *Evozierte Potentiale: SEP VEP AEP EKP MEP* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stumpf, C. (1901). Tonsystem und Musik der Siamesen. In C. Stumpf (Hrsg.), *Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 3* (S. 127-177). Leipzig: Barth.

- Stumpf, C. & Hornbostel, E. M. v. (1911). Über die Bedeutung ethnologischer Untersuchungen für die Psychologie und Ästhetik der Tonkunst. (Neudruck in) *Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft*, 6 (Bericht über den 4. Kongreß für experimentelle Psychologie Innsbruck 1910, 102-115). Leipzig: Barth.
- Taub, J. M., Tanguay, P. E., Doubleday, C. N., Clarkson, D. & Remington, R. (1976). Hemisphere and ear asymmetry in the Auditory Evoked Response to musical chord stimuli. *Physiological Psychology*, 4, 11-17.
- Tecce, J. J. (1972). Contingent Negative Variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 77, 73-108.
- Tervaniemi, M. (1999). Pre-attentive processing of musical information in the human brain. *Journal of New Music Research*, 28, 237-245.
- Tervaniemi, M., Alho, K., Paavilainen, P., Sams, M. & Näätänen, R. (1993). Absolute pitch and Event-Related brain Potentials. *Music Perception*, 10, 305-316.
- Tervaniemi, M., Ilvonen, T., Karma, K., Alho, K. & Näätänen, R. (1997). The musical brain: brain waves reveal the neurophysiological basis of musicality in human subjects. *Neuroscience Letters*, 226, 1-4.
- Tervaniemi, M., Toiviainen, P., Louhivuori, J., Saher, M., Huotilainen, M. & Näätänen, R. (1998). Neural, behavioral, and computational measures of timbre similarity converge. *Kongreßbericht Symp. of the Finnish Society for Artificial Intelligence*, (7.9. – 9.9. 1998).
- Tervaniemi, M. & Zuijlen, T. L. v. (1999). Methodologies of brain research in cognitive musicology. *Journal of New Music Research*, 28, 200-208.
- Thomas, A. (Hrsg., 1993). *Kulturvergleichende Psychologie: eine Einführung*. Göttingen: Hogrefe.
- Trehub, S. (2000). Human processing predispositions and musical universals. In N. L. Wallin, B. Merker & S. Brown (Hrsg.), *The origins of music* (S. 427-448). Cambridge, Massachusetts.: MIT Press.
- Trehub, S. E., Schellenberg, E. G. & Kamenetsky, S. B. (1999). Infants' and adults' perception of scale structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 965-975.
- Tsunoda, T. (1985). *The Japanese brain - uniqueness and universality*. Tokyo: Taishukan Publishing Company.
- Verleger, R. (1986). *Die P3-Komponente im EEG: Literaturübersicht, Diskussion von Hypothesen, Untersuchung ihres Zusammenhangs mit langsamen Potentialen*. München: Profil.
- Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 343-427.
- Verleger, R. (1993). Valid identification of blink artefacts: are they larger than 50 μ V in EEG records? *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87, 354-363.
- Verleger, R. & Schellberg, D. (1991). Slow potentials in a melody recognition task. *Archives of Psychology*, 142, 225-244.
- Walker, R. (1996). Open peer commentary: Can we understand the music of another culture? *Psychology of Music*, 24, 103-130.
- Wassmann, J. (1988). Methodische Probleme kulturvergleichender Untersuchungen im Rahmen von Piagets Theorie der kognitiven Entwicklung - aus der Sicht eines Ethnologen. *Zeitschrift für Ethnologie*, 113, 21-66.

- Winkler, I., Tervaniemi, M. & Näätänen, R. (1997). Two separate codes for missing-fundamental pitch in the human auditory cortex. *Journal Acoustical Society of America*, *102*, 1072-1082.
- Wolf, E. (1979). *Harmonielehre* (4. Aufl.). Die Musikausbildung Vol. II. Wiesbaden: Breitkopf & Härtel.
- Zwicker, E. (1982). *Psychoakustik*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Anhang

- 1. Gemessene und digitalisierte ERP-Kurven aus den Versuchsblöcken 1 bis 5 (Format: ASCII) werden unter Zuhilfenahme eines Shell-Skriptes und der SPSS-Syntax auf einer Workstation der Universität Hamburg eingelesen (Betriebssystem: UNIX). Die Programmierung ist die Voraussetzung für die weitere statistische Analyse und graphische Aufbereitung der Meßdaten**

Die einzelnen Programm-Schritte:

1. Prüfen des Datenbestandes
 2. baseline-Korrektur
 3. Erstellen von grand averages für jeweils 5 Probanden
 4. Graphische Präsentation der Ergebnisse
- (nicht abgedruckt sind Shell-Skripte und diejenigen SPSS-Programmteile, anhand derer die insgesamt 5040 ASCII-Meßwertdateien zu einer einzigen Datei (\$HOME/allekonf/pbeapges.sav) zusammengefaßt wurden)

Konzept und Ausführung: Dipl. Mathematiker Roland Wais

Dokumentation des Programm-Ablaufs:

waisdok Mon Sep 23 12:08:17 1996

Beschreibung der Zusammenfassung von den ca. 5000 Kanal-Messwertdateien zu einer einzigen Datei \$HOME/allekonf/pbeapges. sav

- A. Zusammenfassung zu einer Datei \$HOME/allekonf/pbeapges_vorl.sav
(Die „vorlaeufige“ Datei pbeapges_vorl.sav wurde nach Schritt B aus Speicherplatzgruenden geloescht, existiert also nicht mehr.)
Die Zusammenfassung geschah in 4 Schritten.
- A.1 „Kanal-Zusammenfassung“. Alle Programme und Resultat-Dateien, sowie das (eine) Resultat-Directory, die mit der Kanalzusammenfassung zu tun haben, tragen Namen, die mit k anfangen. - Bei der Kanal- Zusammenfassung wird gleichzeitig die Baseline-Korrektur durchgefuehrt: die Basis-Mittelwerte der ersten 6 urspruenglichen Kanal-Messwerte werden als zusaetzliche 3 Variablen in die resultierenden 1680 „Kanalgruppen-Dateien“ uebernommen.
Ausgangs-Situation: ca. 5000 Einzel-Kanal-Dateien im Directory HOME/einzelkan (69 Dateien fehlen).

Ablauf:

Direct. einzelkan (ca. 5000 Einzel Kanal-Dateien; 75 Stueck feh- len & werden mit „Missing-Dateien“ substituiert)	=====> Shell-Script kzusloop, ruft SPSS-Kommandodatei kanzus.sps . Wesentliche Methoden: MERGE FILES, AGGREGATE	Direct. kangruppen (1680 „Kanalgruppen- Dateien“, mit je 3 Kanaelen auf 3 Variablen, dazu 3 Basis-Mittelwerte und 5 Indikatorvariablen)
---	--	---

A.2 „Pb-Zusammenfassung“. Alle Programme und Resultat-Dateien, sowie das (eine) Resultat-Directory, die mit der Pb-Zusammenfassung zu tun haben, tragen Namen, die mit pb anfangen.

Ausgangs-Situation: 1680 Kanalgruppen-Dateien im Directory
HOME/kangruppen (Diese 1680 Dateien wurden
nicht geloescht, weil ihre Herstellung sehr
aufwendig ist: ca. 2 physikalische Stunden.)

Ablauf:

Direct. kangruppen 1680 Kanalgruppen- Dateien)	=====> Shell-Script pbzusloop ruft SPSS-Kommandodatei pbzus.sps.	Direct. pbgruppen (80 „Pb-Gruppen- Dateien“, mit je 21 * 91 = 1911 Faellen)
Wesentliche Methode: ADD CASES		

A.3 „Tonleiter - (tl -)Zusammenfassung“. Alle Programme und Resultat-Dateien, sowie das (eine) Resultat-Directory, die mit der tl-Zusammenfassung zu tun haben, tragen Namen, die mit tl anfangen.

Ausgangs-Situation: 80 Pb-Gruppen-Dateien im Directory
HOME/pbgruppen (Diese 80 Dateien wurden aus
Plattenplatzgruenden geloescht. Ihre Wiederherstellung waere
nicht sehr aufwendig.

Ablauf:

Direct. pbgruppen (80 Pb-Gruppen- Dateien)	=====> Shell-Script tlzusloop, ruft SPSS-Kommandodatei tlgzus.sps.	Direct. tlgruppen (5 „tl-Gruppen- Dateien“, mit je 16 * 1911 = 30576 Faellen)
Wesentliche Methode: ADD CASES		

A.4

„Alle-Zusammenfassung“. Alle Programme und - mit einer Ausnahme - die
Resultat-Dateien, sowie das (eine) Resultat-Directory, die mit der Alle-
Zusammenfassung zu tun haben, tragen Namen, die mit al anfangen.
Die Ausnahme ist die Resultierende dieser letzten Zusammenfassung:
Sie heisst pbeapges_vorl.sav .

Ausgangs-Situation: 5 tl-Gruppen-Dateien im Directory
HOME/tlgruppen (Diese 5 Dateien wurden aus
Plattenplatzgruenden geloescht. Ihre Wieder-
herstellung waere nicht sehr aufwendig.)

Ablauf:

Direct.tlgruppen	=====>	Direct. allekonf
(5 tl-Gruppen- Dateien	SPSS-Kommandodatei	(1 vorlaufige Ge- samt-Datei mit
	allzus.sps wird direkt	5*30576 = 152880 Faellen.
	vom Benutzer (aus \$HOME	Name: pbeapges_vorl.sav)
	heraus) gerufen mit	
	spss -m allzus.sps \ allzus.res	
	Wesentliche Methode: ADD CASES	

Dieser unanschauliche Weg der Zusammenfassung wurde gewaehlt, weil sonst zu umfangreicher Plattenverkehr - besonders beim (zweiten) „pb-Schritt“ - notwendig gewesen waere.

B. Herstellung der endgueltigen Datei \$HOME/allekonf/pbeapges.sav
(Die „vorlaeufige“ Datei pbeapges_vorl.sav wurde nach Schritt B aus
Speicherplatzgruenden geloescht, existiert also nicht mehr.)

B1. Sichtung der Daten. Kommandodatei: auswert1/descript.sps,
Protokoll-Datei : auswert1/descript.res

Feststellung der Maxima und Minima der gueltigen Werte von den Baseline-
korrigierten Kanaelen, sowie von den Basis-Mittelwerten der urspruenglichen Kanal-
Werte.

Zweck: Anpassung der Formate der Messwert-Variablen, Suche nach Anomalien.

Ferner: Kontroll-Auszaehlungen der 5 Indikator-Variablen.

B2. Herstellung der endgueltigen Datei auf Pb-Basis: 152880 Faelle (Abtastpunkte).

Kommandodatei: auswert1/endfassg.sps

Protokoll-Datei: auswert1/endfassg.res

Endgueltige System-Datei: allekonf/pbeapges.sav

Definition einer 12ten Variable NATION (ganz hinten) fuer spaeteres Aggregieren
ueber 3 Teilgruppen der Probanden:

I 1 fuer PB = 1 bis 5

NATION = I 2 fuerPB = 8 bis 12,

I 3 fuer PB = 15 bis 19

Festlegung von dokumentierenden VARIABLE- und VALUE-Labels, Reduk-tion der
Ausgabeformate fuer die Kanal-(Mittel-)Werte auf den notwendigen Umfang (F7.2).

Nach der Ausgabe von pbeapges.sav noch weitere Auswertungen zwecks
Anomalien-Studium der sehr betragsgrossen Werte.

```

1 0 * SET PRINTBACK = NO .
2 0 * SET MESSAGES = NO .
3 0 * Pruefen und Zusammenfassen der 3 Dateien einer Kanalgruppe, deren
4 0 * Bezeichnung durch $KANGRUPP gegeben ist.
5 0 * Voraussetzungen:
6 0 * - Die Bezeichnung der Kanalgruppe muss auf environment variable
7 0 * KANGRUPP zugewiesen sein
8 0 * - Anschliessend muss gegeben werden:
9 0 *     export KANGRUPP1=${KANGRUPP}1.lst
10 0 *     export KANGRUPP2=${KANGRUPP}2.lst
11 0 *     export KANGRUPP3=${KANGRUPP}3.lst
12 0 * - Danach muß gegeben sein: echo $KANGRUPP > GRUPPE .
13 0 *
14 0 * Kanal 1 .
15 0 SET MXLOOPS = 110 .
16 0 INPUT PROGRAM .
17 0 + DATA LIST FILE="$HOME/GRUPPE" LIST / #GRUPPE .
18 0 + PRINT / 'G R U P P E : ' #GRUPPE (F6.0)
19 0 *
20 0 * Zerlegung der Gruppenkennung .
21 0 * .
22 0 + STRING #STRGRUP (A5) .
23 0 + COMPUTE #STRGRUP = STRING (#GRUPPE, F5.0) .
24 0 + COMPUTE #PB = NUMBER (#STRGRUP, F2.0) .
25 0 + COMPUTE #ANORDN = NUMBER ( SUBSTR(#STRGRUP, 3,1), F1.0) .
26 0 + COMPUTE #TONHOEH = NUMBER ( SUBSTR(#STRGRUP,4,1), F1.0) .
27 0 + COMPUTE #ZUSTAND = NUMBER (SUBSTR (#STRGRUP,5,1), F1.0) .
28 0 *
29 0 * Vorbesetzung des Fehler-Indikators #FORMFEH mit 0 (kein normaler Fehler) .
30 0 * .
31 0 + COMPUTE #FORMFEH = 0 .
32 0 + DATA LIST FILE="$HOME/$KANGRUPP1" LIST / #ANZAHL .
33 0 + DO IF (#ANZAHL NE 91) .
34 1 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 1: '
35 1 / 'Falsche Anzahl in Zeile 1: ' #ANZAHL(F10.2) .
36 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
37 1 + END IF .
38 0 + DATA LIST FILE="$HOME/$KANGRUPP1" LIST / #FAKTOR .
39 0 + DO IF ( ABS(#FAKTOR - 6.024096) gt 2.0e-6) .
40 1 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
41 2 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 1: ' .
42 2 + END IF .
43 1 + PRINT / ' Abweichender Faktor in Zeile 2: ' #FAKTOR (F14.6) .
44 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .

```

```

45 1 + END IF .
46 0 + COMPUTE #ZEILE = 2 .
47 0 + LOOP .
48 1 +     COMPUTE PB           = #PB .
49 1 +     COMPUTE ANORDN      = #ANORDN .
50 1 +     COMPUTE TONHOEH     = #TONHOEH .
51 1 +     COMPUTE ZUSTAND     = #ZUSTAND .
52 1 +     COMPUTE PUNKTNR=#ZEILE-2 .
53 1 +     DATA LIST FILE = "$HOME/$KANGRUPP1" END=#ENDDAT NOTABLE
54 1         / KANAL1 1-10 (2) .
55 1 +     DO IF (#ENDDAT NE 0) .
56 2 +         BREAK .
57 2 +     END IF .
58 1 +     COMPUTE #ZEILE = #ZEILE + 1 .
59 1 +     REREAD .
60 1 +     DATA LIST FILE = "$HOME/$KANGRUPP1" NOTABLE / #LEERTST 1(A) .
61 1 +     DO IF (#LEERTST EQ ' ') .
62 2 +         DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
63 3 +         PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 1: ' .
64 3 +         END IF .
65 2 +         PRINT / 'Fuehrendes Blank in Zeile ' #ZEILE (F3.0) .
66 2 +         COMPUTE #FORMFEH = 1 .
67 2 +     END IF .
68 1 +     END CASE .
69 1 + END LOOP .
70 0 + FORMATS PB(2.0) / ANORDN TO ZUSTAND (F1.0) / PUNKTNR (F3.0) .
71 0 + DO IF (#ZEILE NE 93) .
72 1 +     DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
73 2 +         PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei1: ' .
74 2 +     END IF .
75 1 +     PRINT / 'Falsche Gesamtzahl von Zeilen: ' #ZEILE (F4.0) .
76 1 + END IF .
77 0 + END FILE .
78 0 END INPUT PROGRAM .
79 0 SAVE OUTFILE = „$SPSSTMPDIR/temp1“ / COMPRESSED .
80 0 *
81 0 * Kanal 2 .
82 0 SET MXLOOPS = 110 .
83 0 INPUT PROGRAM .
84 0 + DATA LIST FILE = "$HOME/GRUPPE" LIST / #GRUPPE .
85 0 *
86 0 * Vorbesetzung des Fehler-Indikators #FORMFEH mit 0 (kein normaler Fehler) .
87 0 * .
88 0 + COMPUTE #FORMFEH = 0 .
89 0 + DATA LIST FILE = "$HOME/$KANGRUPP2" LIST / #ANZAHL .
90 0 + DO IF (#ANZAHL NE 91) .

```

```

91 1 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 2: '
92 1           / 'Falsche Anzahl in Zeile 1: ' #ANZAHL(F10.2) .
93 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
94 1 + END IF .
95 0 + DATA LIST FILE='$HOME/$KANGRUPP2' LIST / #FAKTOR .
96 0 + DO IF ( ABS(#FAKTOR - 6.024096) gt 2.0e-6) .
97 1 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
98 2 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 2: ' .
99 2 + END IF .
100 1 + PRINT / ' Abweichender Faktor in Zeile 2: ' #FAKTOR (F14.6) .
101 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
102 1 + END IF .
103 0 + COMPUTE #ZEILE = 2 .
104 0 + LOOP .
105 1 + DATA LIST FILE ='$HOME/$KANGRUPP2' END=#ENDDAT NOTABLE
106 1           / KANAL2 1-10 (2) .
107 1 + DO IF (#ENDDAT NE 0) .
108 2 + BREAK .
109 2 + END IF .
110 1 + COMPUTE #ZEILE = #ZEILE + 1 .
111 1 + REREAD .
112 1 + DATA LIST FILE='$HOME/$KANGRUPP2' NOTABLE / #LEERTST 1 (A).
113 1 + DO IF (#LEERTST EQ ' ') .
114 2 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
115 3 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 2: ' .
116 3 + END IF .
117 2 + PRINT / 'Fuehrendes Blank in Zeile ' #ZEILE (F3.0) .
118 2 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
119 2 + END IF .
120 1 + END CASE .
121 1 + END LOOP .
122 0 + DO IF (#ZEILE NE 93) .
123 1 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
124 2 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei2: ' .
125 2 + END IF .
126 1 + PRINT / 'Falsche Gesamtzahl von Zeilen: ' #ZEILE (F4.0) .
127 1 + END IF .
128 0 + END FILE .
129 0 END INPUT PROGRAM .
130 0 *
131 0 * Matchen Kanal 1 mit Kanal2
132 0 * .
133 0 MATCH FILES FILE = ',$SPSSTMPDIR/temp1' / FILE = * .
134 0 SAVE OUTFILE = ',$SPSSTMPDIR/temp2' / COMPRESSED .
135 0 *

```

```

136 0 * Kanal 3 .
137 0 SET MXLOOPS = 110 .
138 0 INPUT PROGRAM .
139 0 + DATA LIST FILE=$HOME/GRUPPE LIST / #GRUPPE .
140 0 *
141 0 * Vorbesetzung des Fehler-Indikators #FORMFEH mit 0 (kein normaler Fehler) .
142 0 * .
143 0 + COMPUTE #FORMFEH = 0 .
144 0 + DATA LIST FILE=$HOME/$KANGRUPP3 LIST / #ANZAHL .
145 0 + DO IF (#ANZAHL NE 91) .
146 1 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 3: '
147 1 / 'Falsche Anzahl in Zeile 1: ' #ANZAHL(F10.2) .
148 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
149 1 + END IF .
150 0 + DATA LIST FILE=$HOME/$KANGRUPP3 LIST / #FAKTOR .
151 0 + DO IF ( ABS (#FAKTOR - 6.024096) gt 2.0e-6) .
152 1 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
153 2 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 3: ' .
154 2 + END IF .
155 1 + PRINT / ' Abweichender Faktor in Zeile 2: ' #FAKTOR (F14.6) .
156 1 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
157 1 + END IF .
158 0 + COMPUTE #ZEILE = 2 .
159 0 + LOOP .
160 1 + DATA LIST FILE=$HOME/$KANGRUPP3 END=#ENDDAT NOTABLE
161 1 / KANAL3 1-10 (2) .
162 1 + DO IF (#ENDDAT NE 0) .
163 2 + BREAK .
164 2 + END IF .
165 1 + COMPUTE #ZEILE = #ZEILE + 1 .
166 1 + REREAD .
167 1 + DATA LIST FILE=$HOME/$KANGRUPP3 NOTABLE / #LEERTST 1 (A) .
168 1 + DO IF (#LEERTST EQ ' ') .
169 2 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
170 3 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 3: ' .
171 3 + END IF .
172 2 + PRINT / 'Fuehrendes Blank in Zeile ' #ZEILE (F3.0) .
173 2 + COMPUTE #FORMFEH = 1 .
174 2 + END IF .
175 1 + END CASE .
176 1 + END LOOP .
177 0 + DO IF (#ZEILE NE 93) .
178 1 + DO IF (#FORMFEH EQ 0) .
179 2 + PRINT / 'Kanalgruppe ' #GRUPPE (F5.0) ', Kanaldatei 3: ' .
180 2 + END IF .
181 1 + PRINT / 'Falsche Gesamtzahl von Zeilen: ' #ZEILE (F4.0) .

```

```

182 1 + END IF .
183 0 + END FILE .
184 0 END INPUT PROGRAM .
185 0 *
186 0 * Matchen Kanäle 1, 2 mit Kanal 3
187 0 * .
188 0 MATCH FILES FILE = "$SPSSTMPDIR/temp2" / FILE = * .
189 0 EXECUTE .
190 0 *
191 0 * Baseline Correction .
192 0 * .
193 0 COMPUTE #BASGRZ=5 .
194 0 COMPUTE BASE=1 .
195 0 IF ($CASENUM-1 GT #BASGRZ) BASE=2 .
196 0 MISSING VALUES KANAL1 TO KANAL3 (16438775 THRU HI) .
197 0 AGGREGATE OUTFILE="$SPSSTMPDIR/temp1"
198 0           / PRESORTED / BREAK = BASE
199 0           / MK1 MK2 MK3 = MEAN(KANAL1 KANAL2 KANAL3) .
200 0 MATCH FILES FILE = * / TABLE = "$SPSSTMPDIR/temp1" / BY BASE .
201 0 FORMATS MK1 TO MK3 (F7.2) .
202 0 NUMERIC #BM1 TO #BM3 .
203 0 VECTOR VK=KANAL1 TO KANAL3 / VMK=MK1 TO MK3 / #VBM=#BM1 TO #BM3 .
204 0 LOOP #I=1 TO 3 .
205 1 + IF (PUNKTNR EQ 0) #VBM(#I) = VMK(#I) .
206 1 + IF (PUNKTNR EQ 90) #VBM(#I) = #VBM(#I) .
207 1 + COMPUTE VK(#I) = VK(#I) - #VBM(#I) .
208 1 END LOOP .
209 0 DO IF (0 LT PUNKTNR AND PUNKTNR LT 90) .
210 1 + RECODE MK1 TO MK3 (LO THRU HI = SYSMIS) .
211 1 END IF .
212 1 * Nur fuer PUNKTNR=0, PUNKTNR=90 wird auf MK1, MK2, MK3 der
213 1 * Mittelwert der ersten 6 Werte jeweils von KANAL1, KANAL2, KANAL3
214 1 * eingetragen; fuer PUNKTNR=1 bis 89 wird statt dessen dort der
215 1 * system missing value eingetragen.
216 1 * Das geschieht zur Plattenplatzbedarfs-Reduktion auf ca 2 / 3 = 66.7 % .
217 1 * SET MESSAGES=LIST .
218 0 * SAVE OUTFILE=,,$HOME/kangruppen/$KANGRUPP" / DROP = BASE / COMPRESSED .
219 0 * SET MESSAGES=NO .
220 0 * LIST CASES = FROM 1 TO 91 BY 90 .

```

=> Zwischenergebnis: 1680 „Kanalgruppdateien“ mit Abtastwerten in jeweils 3 Kanälen
[Variablen: Kanal 1, Kanal 2, Kanal 3]

=> weitere (nicht im Detail aufgelistete) Programmschritte, um aus 1680

„Kanalgruppdateien“ eine vorläufige Gesamtdatei („pbeapges_vorl.sav“, s.u.) zu erhalten:

a) 1680 „Kanalgruppdateien“ -----> 80 „Pb-Gruppen-Dateien“ mit jeweils
21 * 91 = 1911 Fällen (Abtastwerten)

- b) 80 „Pb-Gruppen-Dateien“ -----> 5 „Anordnungs-Gruppen-Dateien“
 [bestehend aus 16 Tönen:
 8 Töne * 2 Zustände] mit je
 16 * 1911 = 30576 Fällen
- c) 5 „Anordnungs-Gruppen-Dateien“ -----> 1 vorläufige Gesamt-Datei mit
 5 * 30576 Fällen = 152880 Fällen
 („pbeapges_vorl.sav“, s.u.)

```

221  TITLE  ‚Herstellung der Endfassung der vollstaend. Einzel-Pb-Datei‘ .
222  SUBTITLE ‚dazu weitere Pruefungen und Untersuchungen‘ .
223  GET      FILE= ‚$HOME/allekonf/pbeapges_vorl.sav‘ .
224 *  RECODE KANAL1 TO MK3 ( 9999999 THRU HI = SYSMIS ) .
225 *  COMPUTE NATION = PB .
226 *  RECODE NATION (1 THRU 7 = 1)(8 THRU 14 = 2)(15 THRU 21 = 3) .
227 *  FORMATS KANAL1 TO MK3 (F7.2) / NATION (F1.0) .
228 *  VARIABLE LABELS ANORDN ‚Versuchsanordnung: Bloecke 1 bis 5, s. Text‘
229                / TONHOEH ‚Tonstufen 1 bis 8 der entsprechenden Tonleiter‘
230                / PUNKTNR ‚Abtastzeitpunkt in 6-Millisec-Einheiten‘ .
231 *  VALUE LABELS ZUSTAND 0 ‚Standard-Reiz‘ 1 ‚abweich. v. Standard/Deviant‘
232                / ANORDN 1 ‚Dur gegen Thai‘ 2 ‚Dur gegen Moll‘
233                3 ‚Makam gegen Thai‘ 4 ‚Dur gegen Makam‘
234                5 ‚Thai gegen Dur‘
235                / NATION 1 ‚deutsch‘ 2 ‚tuerkisch‘ 3 ‚indisch‘ .
236 *  XSAVE OUTFILE = ‚$HOME/allekonf/pbeapges.sav‘ .
237  TITLE  ‚Umsortieren der Einzel-Pb-Datei auf PB=letztes Sortier-‘ .
238  SUBTITLE ‚kriterium; Umdrehen des Vorzeichens aller Messungen‘ .
239  GET      FILE = ‚$HOME/allekonf/pbeapges.sav‘ .
240 *
241 *  Umdrehen des Vorzeichens von allen Messungen und Basis-Mittelwerten .
242 *
243 *  VECTOR VKM = KANAL1 TO MK3 .
244 +  LOOP #I = 1 TO 6 .
245 +    COMPUTE VKM (# I) = - VKM (# I) .
246 +  END LOOP .
247 *  SORT CASES BYANORD TONHOEH ZUSTAND PUNKTNR PB .
248 *
249 *  XSAVE OUTFILE = ‚$HOME/allekonf/eapgespbletzt.sav‘ .
250 *  FREQUENCIES VARIABLES = PB TO PUNKTNR .
251  TITLE  ‚Aggregieren ueber NATION: jeweils die 5 ersten Pb jeder‘ .
252  SUBTITLE ‚Nation - Vorgegeben: Einzel-Pb-Datei, PB letztes Sortkrit‘ .
253  GET FILE= ‚$HOME/allekonf/eapgespbletzt.sav‘ .
254 *  Weglassen der 2 letzten Pb aus jeder Nation, so dass pro
255 *  Nation nur ueber 5 pb aggregiert wird .
256 *

```

```

257 * Die Steuerung, ueber welche Pb aggregiert wird, erfolgt durch das
258 * nachfolgende RECODE; SELKRIT = 1 bedeutet: „Pb uebernommen“ .
259 * Weglassen des RECODE u n d des SELECT IF dahinter bewirkt,
260 * dass ueber alle Pb (je 7 pro Nation) aggregiert wird .
261 * .
262 COMPUTE SELKRIT = PB .
263 RECODE SELKRIT (1 THRU 5, 8 THRU 12, 15 THRU 19 = 1)
264 (6, 7, 13, 14, 20, 21 = 0) .
265 SELECT IF (SELKRIT = 1) .
266 * .
267 * Nur zur Kontrolle: Uebernommene Pb sichten .
268 FREQUENCIES VARIABLES = PB .
269 AGGREGATE OUTFILE = * / PRESORTED
270 / BREAK = ANORDN TONHOEH ZUSTAND PUNKTNR NATION .
271 / KANAL1 TO KANAL3 MK1 TO MK3 = MEAN (KANAL TO MK3) .
272 SORT CASES BY NATION ANORDN TONHOEH ZUSTAND PUNKTNR .
273 FREQUENCIES VARIABLES = ANORDN TO PUNKTNR NATION .
274 EXPORT OUTFILE = „$HOME/allekonf/eap5pb.por“ .

Portable file: /home/rzaixclu2/fk5a031/allekonf/eap5pb.por
File format : Communications
Date and time: 1996 / 09 / 23 16:20:24
Originating software: SPSS for Unix, Release 6.1 (AIX 3.2)
Originating installation: Universitaet Hamburg AIX-Netz
Precision: 9 base-30 digits - roughly 13 base-10 digits
File label: AGGREGATED FILE
Variables: 11
Weighting variable: - NONE -
Cases: 21,840
File size: 10.937 records (874,960 bytes)
275 FINISH .

```

⇒ Verlassen des UNIX-Betriebssystems; weitere Verarbeitung der Daten mit SPSS-for-Windows (Release 6.1)

⇒ Dateitransfer mittels „ftp“ (file tranfer protocol)

[im nachfolgenden Programmteil wurde menügesteuert gearbeitet, aus Gründen der Übersichtlichkeit ist jedoch weiterhin Syntax notiert]

```

276 IMPORT FILE = „eap5pb.por“.
277 SAVE OUTFILE = „eap5pb.sav“.
278 GET FILE = „eap5pb.sav“.
279 * Erstellen von Zeitwerten für die Abszisse

```

```

280      COMPUTE ZEIT = 6.024096 * PUNKTNR .
281      FORMATS ZEIT (F5.1) .
282      VARIABLE LABELS ZEI ‚Zeit in msec‘ .
283 *      Korrektur der Abtastpunkte (Fälle) von KANAL1, KANAL2 undKANAL3
284 *      = Umwandeln der Sampling-Mittelwerte (pro Nation) in Mikrovolt
285      RENAME VARIABLES (ANORDN TONHOEH = AN TON)
286              / (ZUSTAND NATION = ZU NAT)
287              / (KANAL1 KANAL2 KANAL3 = KAN1 KAN2 KAN3) .
288      SELECT IF(AN EQ .. AND TON EQ .. AND ZU EQ.. AND NAT EQ .. ).
289 +      COMPUTE FZ = KAN1 / ....1
290 +      COMPUTE CZ = KAN2 / .... .
291 +      COMPUTE PZ = KAN3 / .... .
292      FORMATS FZ CZ PZ (F7.2).
293      VARIABLE LABELS FZ ‚Abtastwerte an FZ in Mikrovolt‘
294              / CZ ‚Abtastwerte an CZ in Mikrovolt‘
295              / PZ ‚Abtastwerte an PZ in Mikrovolt‘ .
296      SPLIT FILE BY NAT AN TON .
297 *      Graphische Präsentation der Summenkurven an Fz, Cz und Pz (n = 5).
298 *      Standard- und Deviant-Verläufe sind jeweils in einem Schaubild
299 *      zusammengefasst .
300 *      Erstellen von 360 Grand Average-Diagrammen (3 Nationen * 5
301      Anordnungen * 8 Skalentöne * 3 Elektrodenpositionen)
302 *      GRAPH / LINE = MEAN(FZ) BY ZEIT BY ZU .
303 *      GRAPH / LINE = MEAN(CZ) BY ZEIT BY ZU .
304 *      GRAPH / LINE = MEAN(PZ) BY ZEIT BY ZU .
305      FINISH.

```

¹ Umwandlung Abtast-Punktwert in μV : pro Kanal gruppenweise Division durch den Mittelwert der trials, d.h. der Einzel-Durchgänge, die nach der Artefaktdurchsicht für die Averaging-Prozedur verwendet wurden.

2. [SPSS-for-Windows; Syntax-Fenster]

Analyse 1:

- a) **Varianzaufklärung unter Zuhilfenahme des η^2 -Koeffizienten**
- b) **Vergleich der Amplitudenmittelwerte in ‚homologen‘ Standard- und Deviant-Kurven: Gegenüberstellung der bioelektrischen Reaktionen von Skalentönen mit identischer Nummerierung, aber verschiedenem Frequenzwert; n = 15 Vpn; Anwendung des t-Tests für abhängige Stichproben**
- c) **Einfaktorielle Varianzanalyse und a posteriori-Einzelvergleich, durchgeführt mit der Prozedur ONEWAY und dem Subtest nach Scheffé (Signifikanz-Niveau: 1% und 5%)**

des var = all.

means tables = z1ton1p1 to z2ton8p3 by kultur / statistics = anova.

t-test pairs = z1ton1p1 z1ton1p2 z1ton1p3 with z2ton1p1 z2ton1p2 z2ton1p3 (paired)
 / z1ton2p1 z1ton2p2 z1ton2p3 with z2ton2p1 z2ton2p2 z2ton2p3 (paired)
 / z1ton3p1 z1ton3p2 z1ton3p3 with z2ton3p1 z2ton3p2 z2ton3p3 (paired)
 / z1ton4p1 z1ton4p2 z1ton4p3 with z2ton4p1 z2ton4p2 z2ton4p3 (paired)
 / z1ton5p1 z1ton5p2 z1ton5p3 with z2ton5p1 z2ton5p2 z2ton5p3 (paired)
 / z1ton6p1 z1ton6p2 z1ton6p3 with z2ton6p1 z2ton6p2 z2ton6p3 (paired)
 / z1ton7p1 z1ton7p2 z1ton7p3 with z2ton7p1 z2ton7p2 z2ton7p3 (paired)
 / z1ton8p1 z1ton8p2 z1ton8p3 with z2ton8p1 z2to8p2 z2ton8p3 (paired).

oneway z1ton1p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton2p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton3p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton4p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton5p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton6p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton7p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton8p1 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton1p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton2p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton3p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton4p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton5p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton6p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton7p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton8p2 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton1p3 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton2p3 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton3p3 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton4p3 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

oneway z1ton5p3 by kultur (1 3) / ranges = scheffe / stat = all.

Amplitudenmittelwerte¹**Block 1:**a) Latenzbereich: ,270 msec bis 430 msec^c, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	4,18 (2,54)	4,0 (5,88)	0,18	4,65 (3,21)	5,08 (4,26)	-0,43	2,76 (2,09)	3,53 (4,43)	-0,77
Türk. Vpn	1,62 (3,11)	4,97 (4,24)	-3,35	2,24 (3,11)	4,45 (3,62)	-2,21	1,99 (2,18)	3,18 (4,49)	-1,19
Ind. Vpn	-2,39 (4,93)	1,51 (7,54)	-3,9	-1,14 (6,26)	1,21 (8,53)	-2,35	-1,32 (5,66)	2,93 (6,74)	-4,25
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,35 (1,89)	2,25 (2,29)	-1,9	0,33 (1,11)	1,58 (2,85)	-1,25	0,96 (2,14)	1,01 (3,28)	-0,05
Türk. Vpn	2,8 (3,9)	3,07 (3,45)	-0,27	2,21 (3,12)	2,16 (3,46)	0,05			
Ind. Vpn	3,85 (2,09)	1,79 (1,93)	2,06	3,88 (2,05)	3,75 (2,19)	0,13	2,74 (2,18)	3,08 (3,01)	-0,34
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,98 (2,09)	2,23 (1,95)	-1,25	1,17 (2,09)	4,22 (1,72)	-3,05	1,07 (1,64)	3,88 (2,74)	-2,81
Türk. Vpn	1,36 (2,99)	3,01 (3,61)	-1,65	1,69 (3,07)	3,38 (4,28)	-1,69	1,61 (2,84)	4,18 (4,95)	-2,57
Ind. Vpn	1,23 (1,49)	4,23 (2,2)	-3	3,03 (2,82)	5,74 (2,44)	-2,71	2,24 (1,61)	6,73 (4,13)	-4,49
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,94 (0,66)	7,73 (3,58)	-4,79	3,55 (1,61)	8,02 (3,06)	-4,47			
Türk. Vpn	4,85 (2,15)	4,15 (2,23)	0,7	4,78 (2,35)	4,46 (1,28)	0,32			
Ind. Vpn	2,53 (1,31)	1,21 (3,4)	1,32	2,45 (1,92)	2,38 (4,99)	0,07			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,92 (2,44)	6,14 (3,08)	-4,22	2,15 (2,72)	4,04 (2,6)	-1,89	1,62 (2,81)	2,72 (2,82)	-1,1

¹ Für jeden der hier aufgeführten arithmetischen Mittelwerte (mit Standardabweichung) ist folgende Voraussetzung erfüllt: Die dazugehörige Summenkurve zeigt im gesamten Latenzbereich von 0 bis 540 msec einen korrekten, zum Teil von α -Aktivität überlagerten Kurvenverlauf und setzt für jede Kultur-(Versuchs-)gruppe mit einer ,onset response^c, dem sog. ,N1-P2-Komplex^c ein.

Türk. Vpn	2,61 (1,96)								
Ind. Vpn	2,47 (2,59)	2,53 (3,71)	-0,06	3,29 (1,69)	3,22 (2,87)	0,07			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,39 (3,11)	2,41 (0,68)	-2,02	0,7 (2,59)	0,84 (2,93)	-0,14			
Türk. Vpn	2,86 (2,0)	3,39 (2,47)	-0,53	2,02 (1,74)	2,71 (1,06)	-0,69	1,37 (1,16)	3,35 (4,11)	-1,98
Ind. Vpn	2,07 (2,92)	4,59 (2,53)	-2,52	2,16 (3,26)	4,44 (3,5)	-2,28			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,83 (1,85)	7,12 (4,92)	-5,29	1,51 (1,14)	6,21 (6,8)	-4,7	1,35 (1,12)	4,76 (5,61)	-3,41
Türk. Vpn	3,5 (2,93)	3,77 (2,97)	-0,27	2,99 (2,74)	4,27 (3,09)	-1,28			
Ind. Vpn	2,06 (2,75)	3,51 (4,13)	-1,45	3,32 (2,22)	6,04 (3,57)	-2,72	3,01 (3,74)	6,1 (1,22)	-3,09
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,92 (4,46)	8,23 (5,5)	-6,31	1,37 (2,61)	7,25 (4,56)	-5,88	0,68 (2,71)	6,3 (4,99)	-5,62
Türk. Vpn	3,21 (1,68)	6,76 (1,21)	-3,55	3,09 (1,6)	6,42 (2,15)	-3,33			
Ind. Vpn							1,44 (4,0)	3,91 (5,54)	-2,47

b) Latenzbereich ,430 msec bis 540 msec', Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,25 (2,38)	-3,09 (5,5)	1,84	-1,38 (1,63)	-3,12 (3,63)	1,74	-3,32 (1,61)	-4,11 (4,98)	0,79
Türk. Vpn	-1,72 (3,18)	-0,68 (5,33)	-1,04	-1,88 (3,17)	-2,41 (5,39)	0,53	-3,2 (2,11)	-4,0 (5,92)	0,8
Ind. Vpn	-6,76 (4,85)	-6,13 (2,49)	-0,63	-6,13 (3,77)	-8,21 (4,18)	2,08	-7,19 (4,62)	-6,08 (3,53)	-1,11
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-6,25 (2,55)	-6,34 (2,6)	0,09	-6,94 (2,48)	-9,35 (4,37)	2,41	-5,81 (2,62)	-10,24 (4,88)	4,43
Türk. Vpn	-2,26 (2,94)	-5,62 (3,27)	3,36	-2,71 (2,06)	-7,44 (3,76)	4,73			

Ind. Vpn	-0,78 (2,78)	-4,87 (5,24)	4,09	-1,64 (2,74)	-5,75 (6,52)	4,11	-2,45 (3,18)	-5,74 (7,45)	3,29
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,8 (2,17)	-9,13 (6,52)	5,33	-3,69 (3,73)	-9,34 (6,68)	5,65	-3,51 (3,09)	-11,09 (6,79)	7,58
Türk. Vpn	-2,19 (2,77)	-6,05 (2,16)	3,86	-2,39 (3,11)	-5,52 (2,91)	3,13	-3,12 (3,08)	-5,51 (3,62)	2,39
Ind. Vpn	-3,04 (0,96)	-4,8 (2,55)	1,76	-2,9 (1,01)	-6,12 (2,27)	3,22	-3,13 (1,97)	-6,83 (4,77)	3,7
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,01 (1,04)	2,1 (4,06)	-2,11	-0,07 (1,07)	2,28 (2,51)	-2,35			
Türk. Vpn	1,1 (2,19)	-1,09 (4,42)	2,19	0,49 (1,84)	-1,42 (4,52)	1,91			
Ind. Vpn	-3,43 (2,23)	-7,46 (5,81)	4,03	-3,56 (1,7)	-6,65 (4,98)	3,09			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,39 (2,89)	-1,45 (0,72)	-0,94	-2,43 (2,38)	-4,03 (1,23)	1,6	-3,03 (2,37)	-5,48 (1,7)	2,45
Türk. Vpn	-2,04 (2,67)								
Ind. Vpn	-2,42 (2,9)	-5,32 (3,68)	2,9	-2,74 (2,26)	-5,58 (4,14)	2,84			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-4,39 (2,78)	-4,44 (3,87)	0,05	-3,42 (1,98)	-6,71 (3,38)	3,29			
Türk. Vpn	-0,47 (2,12)	-2,03 (1,93)	1,56	-1,06 (1,58)	-2,3 (1,6)	1,24	-2,78 (1,29)	-2,54 (1,03)	-0,24
Ind. Vpn	-2,41 (2,3)	-2,13 (4,09)	-0,28	-3,36 (2,25)	-4,45 (3,99)	1,09			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,23 (2,85)	-2,3 (2,97)	1,07	-1,15 (2,42)	-3,79 (3,35)	2,64	-1,74 (2,69)	-6,2 (2,95)	4,46
Türk. Vpn	-0,02 (2,7)	-2,91 (1,93)	2,89	-0,99 (2,65)	-4,09 (2,61)	3,1			
Ind. Vpn	-2,26 (6,35)	-6,75 (5,15)	4,49	-0,92 (2,92)	-5,93 (3,31)	5,01	-2,87 (5,01)	-4,61 (3,21)	1,74

Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,61 (2,68)	-1,74 (5,82)	-1,87	-3,32 (2,18)	-2,28 (3,3)	-1,04	-4,24 (2,24)	-3,33 (3,38)	-0,91
Türk. Vpn	-0,57 (1,74)	0,32 (2,53)	-0,89	-1,34 (1,34)	-0,19 (3,3)	-1,15			
Ind. Vpn							-4,59 (0,63)	-3,21 (8,76)	-1,38

Block 2

a) Latenzbereich ,270 msec bis 430 msec', Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,33 (2,42)	3,49 (3,74)	-1,16	2,3 (1,77)	3,98 (4,25)	-1,68		2,89 (5,5)	
Türk. Vpn	0,24 (3,45)	2,59 (6,17)	-2,35	0,45 (3,31)	3,79 (3,95)	-3,34	0,34 (1,68)	4,21 (3,65)	-3,87
Ind. Vpn	-1,13 (2,91)	-3,61 (2,56)	2,48	0,14 (3,23)	-2,45 (2,56)	2,59	0,76 (4,87)	-4,33 (2,08)	5,09
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,4 (1,51)	2,75 (1,26)	-1,35	1,33 (2,7)	5,96 (3,76)	-4,63			
Türk. Vpn	1,71 (3,07)	4,39 (4,35)	-2,68	2,1 (2,18)	3,88 (2,59)	-1,78			
Ind. Vpn	0,62 (2,98)	-1,26 (5,92)	1,88	1,34 (2,43)	2,03 (3,82)	-0,69			
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,92 (5,21)	1,51 (3,02)	0,41	1,18 (4,54)	-0,61 (5,55)	1,79	1,7 (3,32)	-0,47 (4,63)	2,17
Türk. Vpn	3,2 (3,37)	4,91 (3,42)	-1,71	2,8 (2,26)	4,36 (2,26)	-1,56	1,91 (2,76)	3,37 (0,71)	-1,46
Ind. Vpn	1,88 (4,41)	0,61 (8,8)	1,27	0,6 (3,78)	0,87 (9,92)	-0,27	0,45 (3,72)	1,39 (9,05)	-0,94
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,33 (1,65)	5,36 (2,67)	-2,03	4,24 (2,68)	7,72 (4,84)	-3,48	4,88 (2,48)	7,88 (4,99)	-3,0
Türk. Vpn	4,43 (3,83)	2,49 (4,36)	1,94	4,72 (3,95)	3,77 (1,98)	0,95	4,06 (3,87)	4,58 (2,53)	-0,52
Ind. Vpn	1,3 (2,67)	4,81 (6,34)	-3,51	2,34 (3,53)	6,25 (7,15)	-3,91	2,63 (4,38)	5,6 (3,52)	-2,97

Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,91 (1,84)	4,92 (3,4)	-3,01						
Türk. Vpn	2,7 (1,63)	4,49 (2,67)	-1,79	2,6 (2,14)	4,33 (3,68)	-1,73	2,42 (3,09)	3,9 (4,16)	-1,48
Ind. Vpn	2,51 (2,63)	7,9 (4,81)	-5,39	3,23 (2,55)	7,1 (3,09)	-3,87			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,26 (1,53)			1,55 (1,48)			1,28 (1,65)		
Türk. Vpn				2,59 (3,06)	3,58 (5,32)	-0,99	2,25 (2,65)	3,02 (3,66)	-0,77
Ind. Vpn	2,19 (3,14)	2,37 (3,54)	-0,18	1,85 (2,99)	2,28 (3,23)	-0,43			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,84 (0,68)	3,09 (3,66)	-1,25	1,82 (1,75)	4,03 (3,96)	-2,21			
Türk. Vpn	2,68 (4,08)	2,52 (2,69)	0,16	3,09 (3,46)	3,14 (3,19)	-0,05			
Ind. Vpn	2,22 (2,64)	1,3 (2,22)	0,92						
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn									
Türk. Vpn	2,47 (2,1)	4,52 (3,46)	-2,05						
Ind. Vpn	3,97 (1,83)	1,67 (3,12)	2,3	2,58 (2,03)	4,21 (3,83)	-1,63		4,25 (5,52)	

b) Latenzbereich ,430 msec bis 540 msec', Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,42 (3,55)	-4,39 (4,49)	0,97	-2,92 (2,18)	-4,97 (4,98)	2,05		-5,66 (5,89)	
Türk. Vpn	-2,03 (2,65)	-3,55 (7,06)	1,52	-1,4 (2,45)	-2,85 (5,41)	1,45	-3,29 (2,15)	-3,47 (4,17)	0,18
Ind. Vpn	-4,94 (2,96)	-7,89 (2,45)	2,95	-4,02 (3,31)	-8,33 (2,98)	4,31	-4,47 (3,21)	-10,5 (2,9)	6,03

Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,03 (0,86)	-2,23 (2,19)	-0,8	-3,62 (1,84)	-1,48 (3,39)	-2,14			
Türk. Vpn	-2,11 (3,05)	-2,44 (3,29)	0,33	-2,52 (2,97)	-2,96 (2,27)	0,44			
Ind. Vpn	-4,37 (2,55)	-7,71 (5,88)	3,34	-4,91 (2,16)	-6,45 (4,04)	1,54			
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-8,72 (3,89)	-13,68 (4,21)	4,96	-8,75 (5,08)	-15,87 (2,5)	7,12	-9,15 (4,7)	-16,8 (2,81)	7,65
Türk. Vpn	-3,74 (3,49)	-3,0 (4,32)	-0,74	-4,34 (2,64)	-6,05 (2,78)	1,71	-4,29 (2,46)	-8,66 (1,89)	4,37
Ind. Vpn	-5,34 (4,29)	-5,86 (7,3)	0,52	-7,7 (3,44)	-8,24 (8,01)	0,54	-7,7 (4,38)	-8,52 (7,74)	0,82
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,12 (2,47)	-0,85 (5,06)	0,73	0,34 (3,55)	-0,19 (7,63)	0,53	0,97 (2,52)	-0,53 (8,44)	1,5
Türk. Vpn	0,14 (2,11)	-5,09 (1,52)	5,23	0,14 (3,72)	-2,94 (2,27)	3,08	-1,01 (3,93)	-1,91 (4,6)	0,9
Ind. Vpn	-4,63 (5,02)	-7,14 (5,79)	2,51	-4,1 (3,86)	-7,11 (5,71)	3,01	-4,24 (4,81)	-7,34 (3,46)	3,1
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,73 (2,19)	-1,96 (2,46)	0,23						
Türk. Vpn	-1,46 (1,25)	-2,9 (3,18)	1,44	-1,95 (1,77)	-2,41 (3,88)	0,46	-2,45 (1,78)	-3,54 (2,81)	1,09
Ind. Vpn	-2,52 (2,64)	-1,4 (3,82)	-1,12	-1,95 (2,96)	-2,57 (3,27)	0,62			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,06 (2,45)			-3,42 (2,45)			-3,99 (2,85)		
Türk. Vpn				-2,34 (2,84)	-5,13 (4,98)	2,79	-2,77 (2,31)	-7,84 (2,25)	5,07
Ind. Vpn	-1,46 (4,33)	-4,8 (1,14)	3,34	-1,79 (3,86)	-6,17 (2,0)	4,38			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,84 (1,58)	-3,45 (3,54)	1,61	-2,42 (2,18)	-3,98 (5,49)	1,56			

Türk. Vpn	-1,94 (2,6)	-3,73 (2,77)	1,79	-2,8 (2,25)	-3,81 (4,84)	1,01			
Ind. Vpn	-3,24 (3,99)	-6,68 (2,49)	3,44						
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn									
Türk. Vpn	-4,15 (4,03)	-2,93 (1,46)	-1,22						
Ind. Vpn	-3,27 (2,81)	-7,66 (3,48)	4,39	-2,55 (1,46)	-5,6 (2,02)	3,05		-6,92 (2,06)	

Block 3

a) Latenzbereich ,270 msec bis 430 msec‘, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,33 (2,38)	3,31 (2,21)	-0,98	2,53 (2,16)	2,98 (2,58)	- 0,45	2,07 (3,31)		
Türk. Vpn	0,95 (1,97)	1,57 (3,32)	-0,62	0,72 (2,82)	3,01 (3,94)	-2,29	-0,18 (1,33)	2,79 (5,0)	-2,97
Ind. Vpn	0,16 (3,83)	-0,14 (4,8)	0,3	0,91 (4,75)	-0,09 (5,31)	1,0	2,09 (4,28)	1,04 (2,86)	1,05
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,97 (1,72)	2,28 (3,27)	-1,31	0,54 (2,71)	1,64 (2,22)	-1,1	1,32 (3,06)	1,74 (1,86)	-0,42
Türk. Vpn	1,26 (1,85)	1,24 (1,81)	0,02	1,68 (2,19)	0,96 (2,58)	0,72	2,04 (2,2)	1,33 (3,21)	0,71
Ind. Vpn	1,26 (4,96)	1,69 (3,44)	-0,43	1,18 (4,58)	3,39 (2,79)	-2,21	2,49 (4,07)	3,62 (4,66)	-1,13
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,26 (1,39)	3,56 (2,85)	-2,3	2,21 (2,08)	4,17 (3,9)	-1,96			
Türk. Vpn	3,3 (3,55)	1,73 (1,86)	1,57	3,6 (2,13)	2,38 (2,08)	1,22	3,63 (1,94)		
Ind. Vpn	0,97 (2,19)	3,01 (3,96)	-2,04	2,17 (3,04)	4,73 (5,0)	-2,56	1,59 (3,48)	5,33 (6,84)	-3,74

Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,19 (2,58)	4,38 (4,48)	-2,19	1,69 (1,75)	4,96 (5,46)	-3,27			
Türk. Vpn	3,97 (2,39)	4,2 (3,48)	-0,23	3,66 (2,55)	3,92 (4,19)	-0,26			
Ind. Vpn	3,65 (3,94)	3,61 (2,9)	0,04	3,52 (3,4)	5,9 (2,04)	-2,38			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,56 (3,5)	4,22 (3,26)	-1,66	2,44 (3,36)	6,15 (4,47)	-3,71			
Türk. Vpn	2,46 (2,1)	3,9 (1,69)	-1,44	2,14 (1,48)	4,48 (1,37)	-2,34			
Ind. Vpn	3,92 (3,27)	5,95 (4,8)	-2,03	4,41 (3,82)	6,42 (3,75)	-2,01	3,44 (2,41)	9,36 (5,11)	-5,92
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,81 (1,63)	2,76 (1,28)	1,05	4,33 (1,93)	4,27 (2,5)	0,06	3,5 (2,62)	3,93 (3,14)	-0,43
Türk. Vpn	2,18 (2,01)	4,63 (3,99)	-2,45	1,4 (1,54)	5,43 (3,16)	-4,03	-0,3 (1,35)	5,25 (2,44)	-5,55
Ind. Vpn									
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,87 (2,56)	3,39 (2,99)	0,48	3,68 (3,38)	1,9 (3,47)	1,78			
Türk. Vpn	3,37 (2,11)	5,99 (3,08)	-2,62	3,57 (2,65)	4,81 (3,02)	-1,24		4,8 (1,95)	
Ind. Vpn	2,62 (3,3)	6,5 (3,33)	-3,88	2,86 (3,02)	7,07 (4,26)	-4,21	2,92 (2,21)		
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,52 (2,12)	6,42 (2,54)	-2,9	2,28 (1,51)	5,22 (1,74)	-2,94	2,48 (1,4)		
Türk. Vpn									
Ind. Vpn	2,77 (2,03)	-0,44 (4,24)	3,21						

b) Latenzbereich ,430 msec bis 540 msec‘, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,36 (1,47)	-3,24 (2,29)	0,88	-2,57 (2,12)	-3,41 (3,34)	0,84	-3,89 (2,3)		
Türk. Vpn	-2,6 (1,86)	-3,93 (2,57)	1,33	-2,28 (1,36)	-3,78 (3,48)	1,5	-4,52 (3,03)	-5,6 (3,74)	1,08
Ind. Vpn	-2,76 (2,79)	-4,29 (5,41)	1,53	-3,13 (2,79)	-7,03 (2,98)	3,9	-2,98 (3,39)	-6,56 (5,3)	3,58
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-6,32 (2,69)	-6,36 (1,91)	0,04	-7,74 (2,36)	-8,17 (1,89)	0,43	-7,49 (1,21)	-8,17 (2,8)	0,68
Türk. Vpn	-2,05 (2,22)	-6,18 (2,75)	4,13	-3,5 (1,72)	-7,15 (1,39)	3,65	-3,05 (0,9)	-7,3 (1,56)	4,25
Ind. Vpn	-6,16 (8,61)	-6,48 (4,75)	0,32	-6,99 (7,46)	-8,1 (6,23)	1,11	-6,21 (7,22)	-7,21 (4,72)	1,0
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,62 (3,53)	-4,14 (2,79)	1,52	-1,87 (2,93)	-3,48 (5,66)	1,61			
Türk. Vpn	-1,85 (2,28)	-4,86 (3,28)	3,01	-1,31 (1,78)	-5,98 (4,39)	4,67	-1,73 (0,83)		
Ind. Vpn	-4,52 (1,86)	-6,45 (3,93)	1,93	-3,21 (1,95)	-5,71 (6,23)	2,5	-3,75 (2,82)	-5,11 (4,82)	1,36
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,66 (1,01)	-0,55 (2,92)	-1,11	-2,19 (2,24)	-1,87 (3,93)	-0,32			
Türk. Vpn	0,08 (1,56)	-2,23 (2,36)	2,31	-0,82 (1,57)	-4,01 (2,88)	3,19			
Ind. Vpn	-0,98 (2,57)	-5,37 (3,94)	4,39	-1,29 (2,13)	-3,53 (2,85)	2,24			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,09 (2,22)	-1,11 (2,4)	-0,98	-2,75 (1,95)	-1,01 (2,55)	-1,74			
Türk. Vpn	-1,08 (1,8)	-4,05 (5,28)	2,97	-2,28 (1,78)	-3,34 (5,1)	1,06			
Ind. Vpn	-1,49 (2,68)	-0,71 (5,13)	-0,78	-2,15 (2,39)	-3,39 (4,29)	1,24	-3,32 (1,38)	-2,82 (7,9)	-0,5

Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,03 (1,02)	-5,24 (1,57)	3,21	-2,72 (1,24)	-4,75 (3,16)	2,03	-3,22 (1,39)	-5,39 (3,07)	2,17
Türk. Vpn	-0,99 (1,07)	-3,11 (4,14)	2,12	-2,2 (1,01)	-3,51 (2,02)	1,31	-4,13 (2,71)	-4,26 (1,34)	0,13
Ind. Vpn									
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,3 (1,97)	-2,72 (1,72)	0,42	-2,95 (0,91)	-3,69 (2,35)	0,74			
Türk. Vpn	-1,45 (2,29)	-0,98 (2,69)	-0,47	-1,64 (2,63)	-2,48 (1,55)	0,84		-3,71 (2,19)	
Ind. Vpn	-2,87 (3,08)	-2,42 (3,11)	-0,45	-2,82 (3,01)	-3,17 (3,19)	0,35	-2,58 (2,74)		
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,03 (1,35)	-1,52 (3,94)	0,49	-1,55 (1,07)	-1,16 (2,45)	-0,39	-1,84 (0,84)		
Türk. Vpn									
Ind. Vpn	-4,02 (1,05)	-4,25 (1,75)	0,23						

Block 4:

a) Latenzbereich ‚270 msec bis 430 msec‘, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,79 (2,61)	4,56 (2,89)	-1,77	2,76 (2,0)	3,47 (2,83)	-0,71	1,52 (2,46)		
Türk. Vpn	1,5 (2,18)	1,67 (4,12)	-0,17	1,27 (2,93)	2,05 (3,86)	-0,78		2,04 (4,18)	
Ind. Vpn	2,91 (2,59)	-4,6 (6,23)	7,51	3,24 (2,63)	-2,33 (5,31)	5,57	2,23 (3,93)	-1,94 (8,4)	4,17
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,33 (1,71)	-2,0 (2,85)	0,67	-1,42 (3,26)	-2,17 (2,02)	0,75	-0,27 (3,29)	-1,25 (2,19)	0,98

Türk. Vpn	0,91 (2,32)	1,62 (3,59)	-0,71	0,39 (2,66)	1,28 (3,65)	-0,89	1,74 (1,72)	2,62 (3,8)	-0,88
Ind. Vpn	-0,1 (2,92)	-0,36 (6,72)	0,26	-0,75 (1,6)	0,88 (7,8)	-1,63	1,17 (1,89)	0,43 (7,14)	0,74
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,15 (1,07)	3,58 (3,25)	-1,43	2,81 (2,26)	6,44 (2,94)	-3,63	3,67 (2,29)	8,08 (3,24)	-4,41
Türk. Vpn	1,96 (1,28)	5,25 (4,06)	-3,29	1,77 (1,27)	5,94 (3,03)	-4,17	1,86 (1,35)	6,62 (2,04)	-4,76
Ind. Vpn	3,52 (2,0)	3,68 (1,62)	-0,16	4,14 (2,84)	4,27 (2,3)	-0,13	4,9 (2,59)	4,11 (2,87)	0,79
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,41 (1,63)	3,73 (2,32)	-1,32	2,2 (2,16)					
Türk. Vpn	3,96 (1,47)	3,66 (2,23)	0,3	3,6 (1,06)	2,63 (3,26)	0,97	2,9 (0,74)		
Ind. Vpn	2,89 (2,25)	7,29 (2,03)	-4,4	4,42 (3,2)	7,26 (1,66)	-2,84			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,21 (1,48)			3,04 (1,96)	4,31 (2,91)	-1,27			
Türk. Vpn	2,77 (1,44)			2,61 (1,49)					
Ind. Vpn	3,78 (2,84)	5,03 (3,94)	-1,25	3,25 (3,09)	5,12 (2,68)	-1,87		5,96 (3,42)	
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,23 (2,11)	4,27 (4,51)	-1,04	2,94 (2,05)	2,64 (3,56)	0,3	2,04 (1,98)	0,53 (3,35)	1,51
Türk. Vpn	2,12 (1,15)			2,24 (2,11)	4,72 (2,87)	-2,48			
Ind. Vpn	2,46 (3,16)	4,62 (2,08)	-2,16	2,98 (3,94)	3,23 (2,22)	-0,25			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,51 (2,28)	3,03 (3,89)	-0,52	2,04 (2,48)	1,99 (3,37)	0,05	1,43 (2,11)	1,06 (2,88)	0,37
Türk. Vpn							2,33 (2,13)		
Ind. Vpn	3,46 (2,65)	7,65 (4,12)	-4,19	2,8 (1,55)	7,62 (4,02)	-4,82			

Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,09 (1,01)	5,81 (6,18)	-2,72	2,72 (1,6)	5,14 (2,44)	-2,42			
Türk. Vpn	3,49 (2,13)	4,01 (5,11)	-0,52	4,53 (2,64)	4,81 (4,61)	-0,28	4,26 (2,2)	4,52 (4,91)	-0,26
Ind. Vpn	3,49 (2,13)	4,01 (5,11)	-0,52	4,53 (2,64)	4,81 (4,61)	-0,28	4,26 (2,2)	4,52 (4,91)	-0,26

b) Latenzbereich ,430 msec bis 540 msec‘, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,86 (3,17)	-3,64 (2,94)	1,78	-1,94 (2,85)	-4,68 (2,02)	2,74	-4,16 (3,52)		
Türk. Vpn	-0,34 (1,08)	-3,67 (5,82)	3,33	-0,15 (1,49)	-2,71 (4,02)	2,56		-4,97 (3,14)	
Ind. Vpn	-0,67 (1,28)	-10,8 (4,99)	10,13	-1,75 (1,44)	-9,43 (6,41)	7,68	-2,32 (2,14)	-10,29 (6,31)	7,97
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-7,92 (3,39)	-16,69 (3,35)	8,77	-8,35 (4,45)	-17,29 (4,42)	8,94	-7,64 (3,79)	-17,95 (3,75)	10,31
Türk. Vpn	-2,56 (2,86)	-7,19 (3,88)	4,63	-3,27 (2,79)	-9,39 (3,64)	6,12	-2,96 (1,63)	-9,64 (3,39)	6,68
Ind. Vpn	-8,47 (4,03)	-11,82 (7,21)	3,35	-9,12 (3,19)	-11,7 (7,97)	2,58	-6,48 (2,69)	-13,18 (8,04)	6,7
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,47 (2,51)	-2,2 (2,28)	0,73	-1,16 (1,62)	-0,04 (3,46)	-1,12	0,3 (0,96)	1,35 (3,1)	-1,05
Türk. Vpn	-3,06 (1,89)	-1,09 (2,92)	-1,97	-2,95 (2,53)	-0,37 (2,1)	-2,58	-3,19 (2,47)	0,12 (1,99)	-3,31
Ind. Vpn	-2,43 (2,01)	-1,53 (7,74)	-0,9	-2,49 (1,41)	-2,83 (6,92)	0,34	-2,62 (2,64)	-4,24 (5,28)	1,62
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,04 (2,02)	-1,07 (2,02)	-0,97	-1,9 (1,96)					
Türk. Vpn	-0,14 (1,65)	-1,85 (3,21)	1,71	-1,53 (1,65)	-2,69 (3,03)	1,16	-1,88 (1,14)		

Ind. Vpn	-2,49 (2,93)	-2,32 (3,68)	-0,17	-1,91 (3,96)	-3,92 (1,4)	2,01			
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	0,08 (1,07)			-0,16 (0,52)	-3,3 (4,66)	3,14			
Türk. Vpn	-1,05 (1,43)			-2,03 (1,58)					
Ind. Vpn	-1,11 (4,5)	-7,06 (8,7)	5,95	-1,4 (3,81)	-6,74 (4,54)	5,34		-5,77 (4,04)	
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,29 (0,93)	-3,42 (2,95)	2,13	-2,38 (1,31)	-5,22 (3,25)	2,84	-3,51 (1,15)	-6,26 (3,48)	2,75
Türk. Vpn	-2,28 (1,54)			-2,21 (1,48)	-2,12 (4,83)	-0,09			
Ind. Vpn	-2,7 (3,25)	-3,75 (3,98)	1,05	-2,14 (3,24)	-5,44 (4,14)	3,3			
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,28 (1,57)	-5,48 (0,83)	5,2	-1,26 (1,44)	-7,49 (2,05)	6,23	-3,22 (2,12)	-8,93 (2,23)	5,71
Türk. Vpn							-2,6 (2,0)		
Ind. Vpn	-2,98 (3,2)	-3,05 (5,73)	0,07	-3,32 (2,03)	-2,26 (4,74)	-1,06			
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,54 (2,36)	-3,42 (2,27)	1,88	-1,20 (1,68)	-3,22 (3,0)	2,02			
Türk. Vpn				-1,14 (1,59)	-0,1 (2,43)	-1,04	-2,51 (1,45)	0,09 (3,04)	-2,6
Ind. Vpn	-3,87 (1,35)	-1,57 (10,68)	-2,3	-3,67 (1,76)	-3,15 (5,64)	-0,52	-2,81 (1,25)	-4,26 (4,79)	1,45

Block 5:

a) Latenzbereich ,270 msec bis 430 msec“, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,54 (2,45)	3,67 (3,07)	-0,13	3,8 (2,17)	4,41 (5,41)	-0,61	3,04 (2,02)		

Türk. Vpn	0,2 (3,02)	2,07 (2,6)	-1,87	1,05 (2,94)	2,63 (2,99)	-1,58	1,43 (2,37)	0,84 (2,01)	0,59
Ind. Vpn	-1,23 (3,01)	-0,67 (4,62)	-0,56	-0,54 (3,92)	-0,68 (5,09)	0,14	-1,41 (4,01)	1,22 (6,69)	-2,63
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,14 (2,17)			-0,18 (2,01)	0,87 (1,45)	-1,05	1,0 (2,6)		
Türk. Vpn	0,77 (2,28)	1,77 (3,26)	-1,0	0,99 (2,01)	1,73 (3,09)	-0,74	1,96 (1,86)	2,45 (2,57)	-0,49
Ind. Vpn	1,47 (3,78)	5,45 (1,89)	-3,98	1,76 (3,36)	5,23 (2,46)	-3,47	2,66 (3,43)		
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,57 (1,18)	-0,05 (2,86)	2,62	3,16 (2,05)	-0,01 (2,93)	3,17	2,84 (2,67)	-0,22 (4,63)	3,06
Türk. Vpn	3,05 (2,83)	3,21 (4,85)	-0,16	2,54 (3,29)					
Ind. Vpn	2,54 (2,43)	4,09 (3,99)	-1,55	3,31 (3,62)	3,69 (3,45)	-0,38	2,34 (2,26)	3,08 (3,53)	-0,74
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	2,86 (2,71)			3,28 (2,23)					
Türk. Vpn	2,89 (1,87)	4,67 (2,85)	-1,78	2,78 (1,84)	3,98 (2,76)	-1,2			
Ind. Vpn	4,56 (4,77)	2,96 (4,18)	1,6	4,71 (4,8)	3,9 (4,27)	0,81	5,04 (4,65)	2,98 (5,25)	2,06
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,43 (1,92)	3,27 (3,7)	-1,84						
Türk. Vpn	3,57 (2,83)			3,92 (2,71)					
Ind. Vpn	3,01 (3,56)			4,31 (3,13)	5,99 (5,42)	-1,68			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	1,64 (1,1)	2,71 (1,28)	-1,07	1,71 (2,0)	4,37 (1,75)	-2,66			
Türk. Vpn	3,53 (2,32)			2,99 (1,9)					
Ind. Vpn	1,79 (3,66)	7,07 (2,66)	-5,28	1,69 (3,08)	6,96 (3,57)	-5,27	2,23 (1,81)		

Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,53 (3,26)	2,64 (2,21)	0,89	3,52 (3,26)	1,6 (1,64)	1,92			
Türk. Vpn	2,22 (1,35)			2,26 (1,1)	2,28 (2,35)	-0,02	2,1 (1,99)		
Ind. Vpn	4,32 (4,21)	3,73 (6,24)	0,59	4,75 (3,04)	6,06 (6,34)	-1,31	3,69 (3,2)		
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	3,21 (1,27)	3,66 (5,35)	-0,45	3,15 (1,44)	2,49 (4,72)	0,66	3,35 (1,27)		
Türk. Vpn	3,43 (2,43)			3,86 (2,26)	2,97 (2,96)	0,89	3,07 (1,84)	1,97 (3,03)	1,1
Ind. Vpn	3,49 (2,13)	4,01 (5,11)	-0,52	4,53 (2,64)	4,81 (4,61)	-0,28	4,26 (2,2)	4,52 (4,91)	-0,26

b) Latenzbereich ,430 msec bis 540 msec‘, Fz, Cz, Pz, drei Kulturen

	Fz			Cz			Pz		
Ton 1	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,36 (1,53)	-2,24 (3,32)	1,88	-0,77 (1,57)	-2,44 (4,83)	1,67	-1,77 (2,27)		
Türk. Vpn	-2,42 (3,49)	-2,54 (3,26)	0,12	-1,69 (3,58)	-2,5 (2,58)	0,81	-2,87 (3,37)	-4,89 (2,31)	2,02
Ind. Vpn	-5,73 (3,84)	-6,36 (4,57)	0,63	-5,44 (2,84)	-6,86 (5,03)	1,42	-6,53 (3,71)	-8,61 (4,63)	2,08
Ton 2	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-4,52 (2,89)			-5,26 (3,5)	-6,41 (4,55)	1,15	-4,97 (3,6)		
Türk. Vpn	-3,55 (1,47)	-5,22 (3,86)	1,67	-4,51 (2,28)	-6,32 (3,3)	1,81	-3,52 (2,7)	-6,0 (3,12)	2,48
Ind. Vpn	-3,96 (4,85)	-3,36 (2,53)	-0,6	-3,83 (3,19)	-5,4 (1,52)	1,57	-4,39 (3,74)		
Ton 3	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-3,74 (3,07)	-6,88 (2,77)	3,14	-4,49 (3,5)	-8,02 (5,21)	3,53	-4,63 (2,9)	-9,26 (7,17)	4,63
Türk. Vpn	-1,11 (2,13)	-4,33 (3,26)	3,22	-1,38 (2,19)					

Ind. Vpn	-2,65 (1,95)	-5,72 (2,29)	3,07	-3,61 (1,58)	-7,14 (3,66)	3,53	-4,19 (2,98)	-7,35 (4,05)	3,16
Ton 4	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,11 (1,31)			-0,59 (2,53)					
Türk. Vpn	-0,91 (1,44)	-2,32 (4,14)	1,41	-1,43 (1,61)	-3,1 (4,76)	1,67			
Ind. Vpn	-2,1 (4,74)	-6,04 (5,42)	3,94	-3,09 (3,85)	-6,21 (4,27)	3,12	-3,08 (4,46)	-7,23 (4,17)	4,15
Ton 5	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,2 (3,08)	-3,44 (4,88)	1,24						
Türk. Vpn	-0,75 (3,16)			-1,52 (2,33)					
Ind. Vpn	-2,56 (3,55)			-1,83 (2,16)	-2,51 (6,68)	0,68			
Ton 6	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-2,41 (1,79)	-4,99 (5,14)	2,58	-2,56 (2,54)	-4,48 (5,12)	1,92			
Türk. Vpn	-0,36 (1,4)			-0,87 (1,26)					
Ind. Vpn	-3,19 (5,5)	-3,07 (1,7)	-0,12	-4,7 (3,83)	-4,26 (2,6)	-0,44	-3,19 (3,42)		
Ton 7	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-1,08 (2,1)	-4,93 (1,58)	3,85	-1,96 (2,17)	-6,47 (1,28)	4,51			
Türk. Vpn	-2,1 (2,0)			-2,24 (1,23)	-5,62 (5,71)	3,38	-3,43 (1,45)		
Ind. Vpn	-2,62 (4,9)	-5,44 (6,36)	2,82	-2,87 (3,26)	-5,98 (6,16)	3,11	-3,4 (5,21)		
Ton 8	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM	Stan	Dev	Diff aM
Dt. Vpn	-0,17 (1,18)	-3,6 (5,25)	3,43	0,48 (0,6)	-5,76 (3,55)	6,24	-0,33 (1,36)		
Türk. Vpn	-0,64 (3,1)			-0,6 (2,9)	-1,81 (4,83)	1,21	-0,21 (2,6)	-4,15 (6,11)	3,94
Ind. Vpn	-4,67 (6,44)	-11,16 (6,64)	6,49	-2,81 (3,34)	-7,54 (3,47)	4,73			

Zur Information

Sie nehmen heute an einem EEG-Versuch teil.

Er gibt Aufschluß darüber, wie Sie Tonfolgen wahrnehmen und verarbeiten.

Lesen Sie bitte den nachfolgenden Text in Ruhe durch.

Falls Sie Fragen haben, wenden Sie sich bitte an mich.

Das Gehirn ist eine Spannungsquelle, eine Art Generator oder Batterie.

Es produziert unaufhörlich elektrische Spannungsschwankungen von einigen Mikrovolt.

Diese Spannungsschwankungen lassen sich mit Hilfe von kleinen Elektroden genau bestimmen.

Mich interessieren diejenigen Spannungsänderungen, die speziell durch akustische Signale ausgelöst werden.

Diese Potentiale sind sehr klein und werden von spontan erzeugten Spannungsschwankungen des Gehirns überlagert.

Es ist deshalb notwendig, Ihnen dasselbe Tonmaterial recht häufig vorzuspielen.

Nur dadurch lassen sich sinnvolle Meßergebnisse erzielen.

Haben Sie also Geduld.

Für die Vorbereitungen - also das richtige Aufsetzen der Elektroden - sind 40 Minuten vorgesehen.

Danach folgt eine Versuchsreihe von insgesamt 40 Minuten Länge.

Bitte hören Sie die Zeit über aufmerksam zu.

Das Tonmaterial bekommen Sie per Kopfhörer vorgespielt.

Es sind ausschließlich Tonleitern (nachfolgend auch Skalen genannt).

Jede von ihnen umfaßt acht Töne.

Nach dem Versuch bitte ich Sie, einen Fragebogen auszufüllen.
Das ist notwendig, um die EEG-Daten richtig interpretieren zu können.
Während der Untersuchung sind Sie keinerlei Risiken ausgesetzt.
Spannungsschwankungen sind vollkommen natürliche Prozesse.
Sie entstehen bei jeder Wahrnehmung von Schall.
Auch dann, wenn jemand mit Ihnen spricht.
Es wird also grundsätzlich nur das registriert, was Sie selber produzieren,
wenn Sie akustische Signale hören.

Die Teilnahme am Experiment wird vergütet. Sie erhalten 40 Mark.
Die gesamte Studie wird nicht länger als zweieinhalb Stunden dauern.

Ich beginne jetzt mit den Vorbereitungen, nehme einen Buntstift und markiere auf
Ihrem Kopf die Elektrodenpositionen.
Das sind fünf kleine Punkte.
Hier werden dann die Elektroden aufgeklebt, ebenfalls auf Ihrer Stirn, Wange und
Nase.
In der gesamten Vorbereitungsphase können Sie sich entspannen.

Zum Versuch

Ihnen werden jetzt die Tonleitern per Kopfhörer vorgespielt.

Sie hören insgesamt fünf Blöcke, jeder Block besteht aus 60 Tonleitern.

In der Mitte jedes Blockes gibt es eine kleine Pause, damit Sie sich kurz entspannen können.

Ich bitte Sie, folgende Hinweise zu beachten:

1. Seien Sie aufmerksam und hören Sie genau hin.
2. Solange Sie Tonleitern hören, bewegen Sie bitte die Augen so wenig wie möglich hin und her.

Blinzeln Sie möglichst nicht.

Richten Sie Ihren Blick am besten auf das Quadrat vor Ihnen auf der Leinwand.

Halten Sie die Gesichtsmuskulatur einfach entspannt.

Nun zur eigentlichen Aufgabenstellung:

Sie hören in jedem Block zwei verschiedene Arten von Tonleitern.

Beide Skalen-Formen werden verschieden oft vorgespielt.

Dabei ist die eine Form sehr häufig zu hören, die andere sehr viel seltener.

Die häufige Form ist der Grundtyp, also die Standard-Leiter.

Die seltene Form die Abweichung, der Sonderfall.

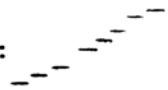
1. Zählen Sie sämtliche Tonleitern, die sich vom durchlaufenden Skalentyp unterscheiden.
Zählen Sie still für sich, jeweils bis zur nächstfolgenden Pause.
2. Tragen Sie die Zahl auf dem nächsten Blatt in die entsprechenden Kästchen ein. Notieren Sie Ihr Ergebnis nur in den Pausen.

3. Versuchen Sie außerdem, den inneren Bau / die Konstruktion beider Tonleitern zu erfassen.

Zeichnen Sie dazu die acht Töne jeder Tonleiter-Form nach dem Durchhören eines Blockes auf.

Verwenden Sie entweder

a) die herkömmliche Notation (sämtliche Versetzungs- und Zusatzzeichen sind erlaubt) oder

b) kleine waagerechte Striche, die den genauen Abstand der Töne voneinander angeben). (Beispiel: ).

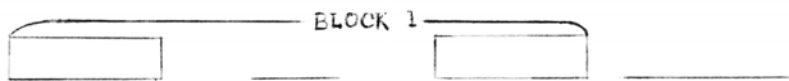
4. Tragen Sie die beiden Tonleiter-Formen ebenfalls auf dem nächsten Blatt unter der entsprechenden Nummer ein.

Jedoch erst nach dem vollständigen Ablauf jedes Blockes.

Sie haben genügend Zeit.

Wir beginnen zunächst mit einem Probelauf (Block Null), damit Sie die Art der Aufgabenstellung kennenlernen.

Der Versuchsaufbau noch einmal als Skizze:



Block 2 bis Block 5
in gleicher Weise

„Blick“	kurze Pause	„Blick“	lange Pause
Hinhören	↓	Hinhören	↓
Zählen	Zahl	Zählen	Zahl
der	ein-	der	ein-
Skalen-	tragen	Skalen-	tragen
„Sonder-		„Sonder-	<u>und</u>
fälle“		fälle“	Skalenbau skizzieren
			skizzieren

Anzahl der Skalen, die sich vom durchlaufenden Tonleiter-Typ unterscheiden:

Struktur/Aufbau der beiden Tonleitern aus einem Block:

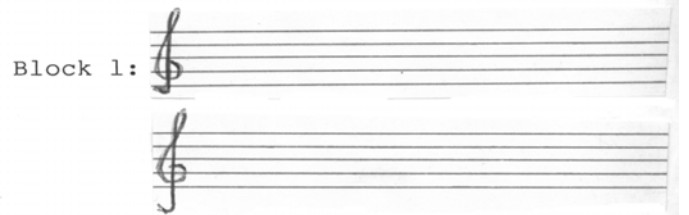
Block 0a:

Block 0b:



Block 1a:

Block 1b:



Block 2a:

Block 2b:



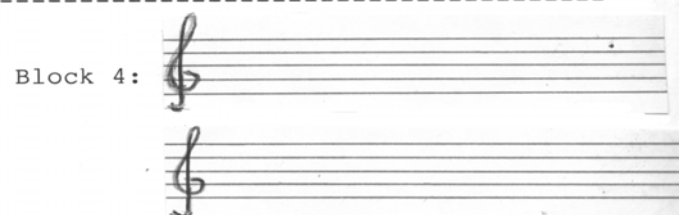
Block 3a:

Block 3b:



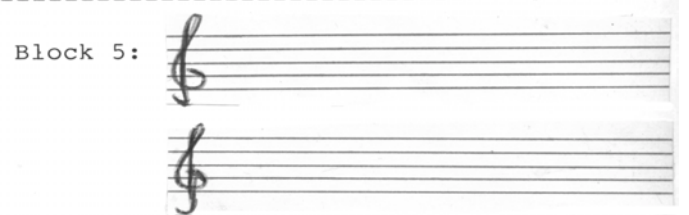
Block 4a:

Block 4b:



Block 5a:

Block 5b:



Angaben zur Versuchsdurchführung:

Vpn-Nr:

Vpn-Kürzel:

Datum:

Uhrzeit:

Messung der Elektrodenimpedanzen ($k\Omega$):

Fz Cz Pz C3 C4

Mastoid-
punkt
links
(Ml)Mastoid-
punkt
rechts
(Mr)Referenz-
punkt
(Nase)Fpz
(Erdung)

Technische Schwierigkeiten:

Bemerkungen der Probanden zum Versuchsablauf:

Gesamtdauer des ERP-Experiments:

Individuelle Bearbeitungszeit für den Fragebogen:

Fragebogen

1. Haben Sie eine oder mehrere Tonleitern gekannt?

Ja

Nein

Wenn ja, wie viele Tonleitern haben Sie gekannt?

Bitte nennen Sie jeweils den Tonleiter-Typ:

2. Waren diese Tonleitern genau so dargestellt, wie Sie es gewohnt sind?

Ja

Nein

Wenn nein, was war hier anders?

3. Waren Ihnen eine oder mehrere Skalen unbekannt?

Ja

Nein

Wenn ja, wie viele Tonleitern haben Sie nicht gekannt?

Wenn möglich, können Sie diese bitte näher beschreiben?

4. Haben Sie beim Hören auf einzelne Tonschritte oder eher auf die Gesamtgestalt geachtet?

nur auf die Ton- schritte	vorwiegend auf die Tonschritte	auf Tonschritte und Gesamt- gestalt in gleichem Maße	vorwiegend auf die Gesamt- gestalt	nur auf die Gesamt- gestalt
---------------------------------	--------------------------------------	---	---	--------------------------------------

5. Wie haben Sie die gewählte Präsentationsart (Synthesizer ‚Roland JD 800‘) empfunden?
6. Hätten Sie die Tonleitern lieber auf ‚natürlichen‘ Instrumenten gehört?
- Ja Nein
- Wenn ja, welche Leiter auf welchem Instrument?
7. Haben Sie die Skalen mit bestimmten Assoziationen verknüpft?
- Ja Nein
- Wenn ja, können Sie diese Vorstellungen bitte kurz beschreiben?
8. Haben Sie sich durchgängig konzentrieren können?
- Ja Nein
9. War die Versuchsdauer insgesamt zu lang?
- Ja Nein
10. Haben Sie sich während des Versuchs gelangweilt?
- Ja Nein

11. War die Aufgabenstellung (Zählen und Struktur erfassen) zu komplex?

Ja

Nein

12. a) Sind die einzelnen Töne in einer Tonleiter

zu schnell genau richtig zu langsam
aufeinander gefolgt?

b) Sind die einzelnen Töne in einem Block

zu schnell genau richtig zu langsam
nacheinander gefolgt?

13. Wie viele identische ‚Durchläufe‘ haben sie benötigt, um die Struktur einer Skala zu erfassen?

1. Wie alt sind Sie? Jahre.
2. a) Aus welchem Land stammen Sie?
b) Aus welcher Region kommen Sie genau?
c) Sind Sie in einer Großstadt aufgewachsen? Ja Nein
3. a) Wie lange leben Sie schon in Deutschland? Jahre.
b) Haben Sie vorher bereits in anderen Ländern Europas oder in den USA gelebt? Ja Nein
Wenn ja, in welchem Land? Wie lange?
4. a) Welchen Schulabschluß haben Sie?
b) Wie viele Jahre sind Sie zur Schule gegangen? Jahre.
c) Bezeichnen Sie bitte die Art Ihrer Schule:
5. Wann und wo haben Sie Deutsch gelernt?
6. Kommen Ihre Vorfahren ursprünglich aus Deutschland? Ja Nein
7. Welcher Gesellschaftsschicht haben Sie in Ihrem Herkunftsland angehört?
8. Haben Sie schon einmal an einem EEG-Versuch teilgenommen?
Ja Nein

9. Wie ist Ihr Befinden/Ihre psychische Verfassung am heutigen Tag?

bedrückt/ traurig/ deprimiert	abgespannt/ abgehetzt/ müde	ausgeglichen/ ruhig	hellwach/ topfit	gereizt/ aggressiv/ wütend
faul/ träge	gut gelaunt froh			

10. Haben Sie heute Kaffee Alkohol Nikotin Medikamente zu sich genommen?

11. Sind Sie Rechtshänder? Ja Nein

Fragen zur musikalischen Ausbildung

12. a) Welche Instrumente aus Ihrem Herkunftsland beherrschen Sie professionell und üben darauf regelmäßig?

b) Welches ist Ihr Hauptinstrument?

c) Haben Sie auf Ihrem Hauptinstrument noch Unterricht? Ja Nein

d) Geben Sie auf diesen Instrumenten selbst regelmäßig Konzerte?
Ja Nein

Wenn ja, auf privaten Feiern/Festen in Konzerthallen auf der Straße

solistisch in einem Ensemble

17. Sind Sie schon in Ihrer Heimat

- a) mit ‚klassischer‘ westlicher Musik (E-Musik) Ja Nein
- b) mit Rock- und Popmusik (U-Musik) Ja Nein
- in Berührung gekommen?

18. Haben Sie einen Abschluß an einer Musikhochschule oder an einem Konservatorium? Ja Nein

Wenn ja, nennen Sie bitte Fach und Art des Abschlusses:

19. Welche musikalischen Tätigkeiten üben Sie zur Zeit beruflich aus?

20. Wie viele Stunden üben Sie am Tag? (Bitte differenzieren Sie nach Instrumenten)

21. a) Wie viele Stunden in der Woche hören Sie Musik aus Ihrem Herkunftsland? Stunden.

b) Wie viele Stunden in der Woche hören Sie ‚westliche‘ Musik? Stunden, davon Rock- und Pop-Musik: Stunden.

c) Hören Sie ‚westliche‘ Musik vorwiegend:

in Konzerten	auf Schallplatte/ CD	im Radio	privat, durch Kontakte zu ‚westlichen‘ Musikern?
--------------	-------------------------	----------	---

d) Welche Art von Musik hören Sie besonders gern?
eigene Kultur:

‚westliche‘ Kultur:

22. Falls Sie in Ihrer Heimat einer bestimmten sozialen Schicht angehört haben:
 Wird in dieser Schicht a) ein spezieller Musikstil bevorzugt?
 Wenn ja, welcher Musikstil ist das?
 b) das Erlernen eines speziellen Instruments hoch eingeschätzt?
 Wenn ja, welches Instrument ist das?
23. a) Haben Sie Erfahrung mit elektronischen Klängen? Ja Nein
 b) Besitzen Sie selbst einen Synthesizer und/oder entsprechende Computersoftware? Ja Nein
24. Hat ein Hals-Nasen-Ohren-Arzt oder ein Neurologe bei Ihnen Hörprobleme festgestellt? Ja Nein
25. Sind Sie „Absoluthörer“? Können Sie also einen gehörten Ton sofort exakt benennen oder nachsingen? Ja Nein
26. Beschäftigen Sie sich a) mit der Musiktheorie Ihres Landes?
 sehr häufig oft manchmal selten nie
 b) mit „westlicher“ Musiktheorie?
 sehr häufig oft manchmal selten nie
 c) mit Tonsystemen aus verschiedenen Kulturen ganz allgemein?
 sehr häufig oft manchmal selten nie
 d) mit Fragen zur Stimmung und Intonation?
 sehr häufig oft manchmal selten nie

27. Haben Sie alle Fragen verstanden?

Ja Nein

Wenn nein, welche Fragen haben Sie nicht verstanden?

Nummer:

Ich danke Ihnen sehr herzlich für Ihr Kommen
und Ihre Teilnahme am Experiment!

Some Information

Today you are participating in a so-called EEG experiment.

It gives information about how you perceive and process acoustic stimuli.

Please read the following text. There is no hurry.

If you have any questions, please ask me.

Our brain is a voltage generator, a kind of battery.

It produces electrophysiological potentials of a few micro-volt during the whole lifetime without a break.

These potentials can be measured by means of small electrodes.

I am particularly interested in those electrophysiological potentials, which are especially evoked by acoustic signals.

These special potentials are very, very tiny. They are superimposed by spontaneously generated voltage activity of the brain.

Therefore it is necessary to play the tonal stimuli again and again.

It is the only way to get useful results.

So do not lose your patience, please.

The preparations - i.e. the right placement of the electrodes - last about 40 minutes.

Then there comes the actual test which lasts also 40 minutes.

Please listen attentively all the time.

The tonal material will be played via earphones.

These are scales without any exception.

Each of these scales consists of eight notes.

After having done the test, I want you to fill out a questionnaire.

This is necessary to interpret the EEG data in a right way.

During the whole experiment there is no risk for you at all.

The generation of electrophysiological potentials is a natural process.

It occurs whenever you perceive signals or sounds - when somebody talks to you, for example.

In principle, only those events will be registered which you generate by yourself when you hear acoustic signals.

Your participation will be rewarded. You will get 40 DM.

The whole study won't take longer than 2,5 hours.

Now I start with the preparations, take a pencil and mark the electrode positions on your head.

These are five small points. Here, the electrodes will be stuck as well as on your forehead, your cheek and your nose.

In the whole period of preparation, you can relax.

The Experiment

Now, scales will be played over your headphones.

There will be five sections altogether, each part consists of 60 scales.

In the middle of each section there is a short break, so that you can relax for a moment.

I ask you to take notice of some instructions:

1. Pay attention and listen carefully.
2. As long as you hear scales, try to keep your eyes still.

Don't blink, if possible.

Just keep your eyes on the square on the screen in front of you and keep your facial muscles relaxed.

Now the actual task:

In each section you'll hear two different forms of scales.

The number of repetitions is not equal.

One form will be played very often whereas the other one will be played less frequently.

The form often being played is the main type, the 'standard scale'.

The form seldom being played is the deviant scale, the so-called 'oddball'.

1. Count all the scales of the oddball type, i.e. all scales that differ from the standard scale being often played.
Count by yourself, until the next break is coming up.
2. Write down your counting result into the blank spaces (□) on the next page.
Write only during the breaks.


3. Try also to grasp the internal set-up / the structure of each scale.

In order to do so, write down the eight notes of each scale after having heard the part completely.

Use either

a) the traditional notation (all additional signs (accidentals) are permitted) or

b) small lines to mark the precise distance of each tone step

(e.g. ).

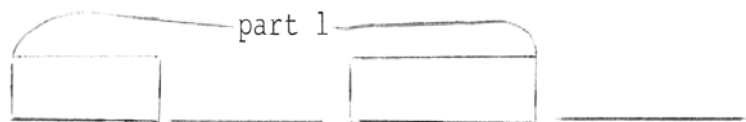
4. Write down these two scale-forms in the matching staff on the next page.

But only after having heard one part completely.

You have plenty of time.

Now we start with the first part on trial (as an example only) so that you can get acquainted with the kind of tasks (this is part zero).

Drawing of the experimental design:



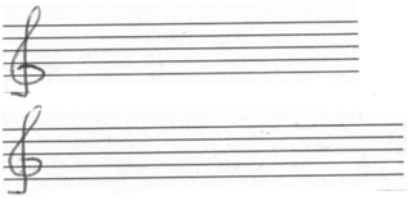
look	short	look	long	part 2 up to part 5 the same way
	break		break	
listen	write	listen	write	
attentive-	down	attentive-	down	
ly	number	ly	number <u>and</u>	
count		count	set-up	
the		the	of each	
deviant		deviant	scale	
scales		scales		

Number of scales (oddball)
that are different from
the main scale-type:

Internal set-up/structure
of the standard-scale and
the oddball-scale:

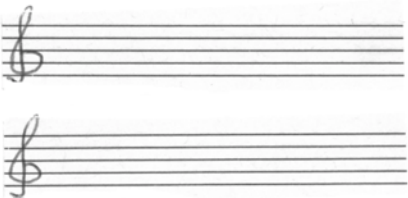
Part 0a:

Part 0b:

Part 0: 

Part 1a:

Part 1b:

Part 1: 


Part 2a:

Part 2b:

Part 2: 

Part 3a:

Part 3b:

Part 3: 

Part 4a:

Part 4b:

Part 4: 

Part 5a:

Part 5b:

Part 5: 

Questionnaire

1. Have you been familiar with one or several scales?

Yes No

2. Have these scales been played in such a way you are acquainted with?

Yes No

If 'No', what was different here?

3. Have you been unfamiliar with one or several scales?

Yes No

If 'Yes', how many scales were unfamiliar to you?

If possible, could you describe these scales in detail, please?

4. When listening to scales, have you paid attention to single tone steps or rather to the pattern as a whole?

only	mainly	to steps	mainly	only
to	to	and the	to the	to the
steps	steps	pattern	pattern	pattern
		in equal		
		parts		

5. How did you get along with the chosen manner of presentation (Synthesizer 'Roland JD 800')?

6. Would you have rather liked to listen to scales played on 'natural' musical instruments?

Yes No

If 'Yes', which scale on which musical instrument?

1. How old are you? years old.

2. a) Where do you come from?
 b) From which region exactly?
 c) Did you grow up in a large city? Yes No

3. a) How long have you lived here in Germany? years.
 b) Have you already lived in other countries of Europe or the USA
 before? Yes No
 c) If 'Yes', in which country?
 How long?

4. a) How many years have you gone to school? years.
 b) Which school diploma have you got?
 c) Name the kind of school, please:

5. When and where have you learned German?

6. Do your ancestors originally come from Germany? Yes No

7. To which social class did you belong / do you belong in your country
 of origin?

8. Have you ever taken part in an EEG experiment? Yes No

9. How are you / how do you feel today?

sad /
depressed

fatigued /
tired /
exhausted

balanced /
calm

brisk /
topfit

annoyed /
aggressive
quarrelsome

lazy

good-humoured /
happy

10. Have you drunk coffee alcohol today?
 Have you smoked cigarettes today? Yes No
 Have you taken some medicine today? Yes No
11. Are you a right-hander? Yes No

Questions about your musical education

12. a) Which musical instruments from your country of origin do you play professionally and practise regularly?
- b) Which is your main musical instrument?
- c) Do you regularly give concerts on these instruments?
 Yes No
 If 'Yes', during private in concert- on the street
 fêtes / parties halls
 as a soloist in a group / ensemble?
13. Do you play on 'western' musical instruments as well?
 Yes No
 If 'Yes', which musical instruments do you play?
 How many years have you already played? years.
 Do you still take lessons? Yes No

18. Do you hold a degree from a conservatory? Yes No
- If 'Yes', please name your chosen major (primary subject) and kind of diploma you earned:
19. Which musical professions do you practice regularly?
20. How many hours do you practise a day (How many hours on which instruments exactly)?
21. a) How many hours a week do you hear music from your country of origin? hours.
- b) How many hours a week do you hear 'Western' music?
- hours, in particular rock- and pop-music: hours.
- c) Do you listen to 'Western' music mostly
- | | | | |
|-------------|---------------------|-----------------|--|
| in concerts | on records /
CDs | on the
radio | private,
because of contacts to
'Western' musicians? |
|-------------|---------------------|-----------------|--|
- d) Which kind of music do you like best?
- Your own culture:
- 'Western' culture:
22. If you belonged to / if you still belong to a special social class in your country of origin:
- a) Is there a special musical style being preferred in that class?
- | | | |
|-----|----|--|
| Yes | No | If 'Yes', could you name that musical style, please? |
|-----|----|--|

b) Is there a certain instrument that is particularly popular?

Yes No

If 'Yes', which musical instrument is it?

23. a) Have you got experience with electronic generated sounds?

Yes No

b) Have you got a synthesizer and / or special computer software
by your own? Yes No

24. Has a doctor found out that you have any problems in hearing?

Yes No

25. Have you got 'absolute pitch'? That is, are you able to name or
repeat a note immediately after having heard it?

Yes No

26. Are you occupied with

a) the theory of music of your own country

very often often sometimes seldom never

b) 'Western' theory of music?

very often often sometimes seldom never

c) tonal systems of different cultures in general?

very often often sometimes seldom never

d) researching problems of tuning and intonation?

very often often sometimes seldom never

27. Have you understood everything? Yes No

If 'No', which question haven't you understood?

Number:

Thank you very much for coming and your participation!

Lebenslauf

- 1965, 15. Februar geboren in Hamburg als Tochter der Apotheker Traugott und Ruth Neuhaus, geb. Breitzkreutz
- 1971 - 1984 Besuch der Ernst-Henning-Grundschule und des Hansa-Gymnasiums in Hamburg-Bergedorf, Juni 1984: Abitur
- 1984 - 1988 Studium an der Staatlichen Hochschule für Musik, Detmold; Hauptfach ‚Klavier‘ künstlerische und pädagogische Richtung, (Prof. E. Besch, Prof. R. Kretschmar-Fischer) April 1988: Diplom ‚Klavier-Pädagogik‘
- 1988 - 1993 Zweitstudium, Universität Hamburg Hauptfach ‚Systematische Musikwissenschaft‘ (Prof. Dr. A. Schneider, Prof. Dr. V. Karbusicky, Prof. Dr. E. Haselauer) Nebenfächer: ‚Historische Musikwissenschaft‘, ‚Journalistik‘ (Prof. Dr. C. Floros, Prof. Dr. W. Dömling, Prof. Dr. H. Marx, Prof. Dr. O. Jarren) Januar 1984: Magister Artium
- 1994 - 1999 Arbeit als Musikjournalistin und Kolumnistin bei den Tageszeitungen ‚Bergedorfer Zeitung‘, ‚Hamburger Abendblatt‘ und ‚Die Welt‘
- 1997 - 2002 hauptberufliche Erwerbstätigkeit als Klavierpädagogin an der Kreismusikschule Ludwigslust
- 1998 - 2001 Lehraufträge, Universität Lüneburg (Fächer: ‚Musikpsychologie‘ und ‚Musikkritik‘)
- seit 2002 wissenschaftliche Mitarbeiterin, Max-Planck-Institut für neuropsychologische Forschung, Leipzig

Publikationen:

- Journalistische Beiträge, Tageszeitung „Die Welt“
- Kurzbericht zur Dissertation in:
Musical Imagery Hrsg. R. I. Godoy / H. Joergensen,
Lisse: Swets & Zeitlinger, 2001, S. 77-93.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, daß ich die Arbeit selbständig angefertigt habe und andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt habe.

Die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen habe ich als solche kenntlich gemacht.

Hamburg, den 15. September 2002