Assessment of the Individual Auditory Perception via Evoked Potentials

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung des Grades

DOKTOR-INGENIEUR

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Martin Burger

Erlangen - 2008

Als Dissertation genehmigt von
der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung	:	11.10.2007
Tag der Promotion	:	13.12.2007
Dekan	:	Prof. Dr. J. Huber
Berichterstatter	:	Prof. Dr. Dr. U. Eysholdt
		Prof. Dr. W. Kellermann

Bewertung der individuellen auditiven Wahrnehmung mittels akustisch evozierter Potentiale

Der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung des Grades

DOKTOR-INGENIEUR

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Martin Burger

Erlangen - 2008

Kommunikationsstörungen - Berichte aus Phoniatrie und Pädaudiologie

Band 18

Martin Burger

Assessment of the Individual Auditory Perception via Evoked Potentials

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2008
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7309-5
ISSN 1436-1175

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. Ulrich Eysholdt danke ich für die Aufnahme in seiner Abteilung und für die Überlassung des Themas. Sein Engagement ermöglichte interdisziplinäre Strukturen, welche eine substantielle Basis meiner Arbeit waren.

Bei Herrn Prof. Dr. Walter Kellermann möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats bedanken.

Ein großer Dank geht an meine beiden Betreuer PD Dr. Michael Döllinger und PD Dr. Jörg Lohscheller, deren unermüdlicher Einsatz mir ein gutes Beispiel gab.

Ebenso danke ich Prof. Dr. Dr. Ulrich Hoppe für die intensive Zusammenarbeit und die vielen wertvollen Anregungen und Prof. Dr. Peter Kummer für die Erörterung der medizinischen Fragestellungen.

Herr Dr. Raphael Schwarz und Herr Dipl.-Ing. Tobias Wurzbacher haben den Entstehungsprozess der vorliegenden Arbeit unmittelbar miterlebt und konstruktiv unterstützt. Für die zahlreichen Diskussionen und Anregungen möchte ich mich herzlich bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die meinen bisherigen Lebensweg so liebevoll unterstützt hat.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Projekts DFG Ey15/7 der Deutschen Forschungsgemeinschaft und durch die Erlanger leistungsbezogene Anschubfinanzierung und Nachwuchsförderung (ELAN PP-05.09.26.1) gefördert.

Zusammenfassung

Für die sprachliche Kommunikation als soziale Schlüsselkompetenz benötigt der Mensch eine Sende- und eine Empfangsmöglichkeit. Im Gehör als Empfangsteil finden nach aktueller Auffassung zwei Verarbeitungsstrategien parallel statt: in einem "bottom-up" genannten Signalverarbeitungsprozess werden die physikalischen Schallereignisse in neuronale Impulse umgesetzt und Merkmale extrahiert; in einem gleichzeitig verlaufenden "top-down"-Prozess werden die Merkmale mit Erwartungen und Erfahrungen abgeglichen, die in höheren Zentren vorliegen. Die Erfahrungen werden im frühen Kindesalter erworben. Fehlfunktionen der Lernphase in diesem Lebensalter — verursacht durch eine Störung der auditiven Wahrnehmung — können gravierende Folgen zunächst für die Sprachentwicklung, langfristig für die Sprachkompetenz des Menschen haben.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine objektive Diagnostik auditiver Wahrnehmungsstörungen zu ermöglichen, die sowohl unabhängig von der Kooperation des Patienten als auch von der Interpretation des Untersuchers ist. Als geeignetes Verfahren erweist sich die Messung akustisch evozierter Potentiale. Dort wird während akustischer Stimulation ein EEG aufgezeichnet, in dem sich die physiologischen Wahrnehmungsprozesse in der neuronalen Antwort des Gehirns auf den akustischen Stimulus abbilden. In der vorliegenden Arbeit werden Verfahren zur objektiven Messung von auditiven Diskriminationsleistungen und zur Bestimmung des zeitlichen Auflösungsvermögens der auditiven Verarbeitung vorgestellt. Weiterhin werden die maßgeblichen Mechanismen der präkognitiven Sprachverarbeitung erfasst und gleichzeitig ein Ansatz für deren klinische Nutzbarmachung vorgeschlagen. Die geleisteten Beiträge zeigen, dass akustisch evozierte Potentiale vorzüglich für die Modellierung auditiver Wahrnehmungsprozesse geeignet sind. Ob sie die für die audiologische Diagnostik geforderte Trennschärfe erreichen, muss in weiteren Arbeiten untersucht werden.

Contents

1 Introduction **1**

2 Fundamentals **9**
2.1 Auditory Perception 9
2.1.1 Auditory Pathway 9
2.1.2 Auditory Functions 11
2.1.3 Psychological Model Representation 13
2.2 Auditory Evoked Potentials 15
2.2.1 Principles 15
2.2.2 Neural Generators 18
2.2.3 Cortical AEP Recordings 20
2.2.4 Cortical AEP Components 21

3 Evoked Potentials in Children with CAPD **25**
3.1 Introduction 25
3.2 Methods 27
3.2.1 Participants 27
3.2.2 Stimuli and Procedure 29
3.2.3 EEG Recording 30
3.2.4 SNR Determination 31
3.2.5 Wavelet Transform 31
3.2.6 H_1-Method 35
3.3 Results 39
3.3.1 Cortical Stimulus Responses 39
3.3.2 MMN 43
3.4 Discussion 48
3.5 Conclusions 51

4 Gap Detection **53**
4.1 Introduction 53

4.2 Method 55
4.2.1 Participants 55
4.2.2 Subjective Test: Gap Detection Procedure 55
4.2.3 Objective Test: AEP Measurement 56
4.3 Results 59
4.3.1 Individual Gap Detection Threshold 59
4.3.2 AEP Characteristics 60
4.3.3 Correlation: Threshold—AEP 64
4.4 Discussion 65
4.5 Conclusions 67

5 Decomposition of Speech-Evoked Potentials 69
5.1 Introduction 69
5.2 Methods 72
5.2.1 Participants 72
5.2.2 Stimuli and Procedure 72
5.2.3 EEG Recording 74
5.2.4 AEP Peak Detection 75
5.2.5 Comparison of the Evoked Potentials 75
5.2.6 Synthetic Waveform Optimization 76
5.3 Results 79
5.3.1 Cortical Responses 79
5.3.2 Speech–Noise Pairs 83
5.3.3 Fitting Results 87
5.4 Discussion 91
5.4.1 Speech- and Non-Speech-Evoked Potentials 91
5.4.2 Hemispheric Asymmetries 91
5.4.3 Speech–Noise Pairs 92
5.4.4 Fitting of the Speech-Evoked Potentials 93
5.4.5 Weighting Parameters of the Fitting 94
5.4.6 Summary 94

6 Summary and Outlook 95

List of Abbreviations 103

Bibliography 105

List of Figures **119**

List of Tables **121**

Curriculum Vitae **123**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **5**

2 Grundlagen **9**
2.1 Auditive Wahrnehmung 9
2.1.1 Die Hörbahn 9
2.1.2 Auditive Teilleistungen 11
2.1.3 Psychologische Modellvorstellung 13
2.2 Akustisch evozierte Potentiale 15
2.2.1 Grundlagen 15
2.2.2 Neuronale Generatoren 18
2.2.3 Aufnahme kortikaler AEP 20
2.2.4 Komponenten kortikaler AEP 21

3 AEP bei Kindern mit AVWS **25**
3.1 Einleitung 26
3.2 Methoden 27
3.2.1 Teilnehmer 27
3.2.2 Stimuli und Durchführung 29
3.2.3 EEG-Aufzeichnung 30
3.2.4 SNR-Bestimmung 31
3.2.5 Wavelet-Transformation 31
3.2.6 H_1-Methode 35
3.3 Ergebnisse 39
3.3.1 Kortikale Stimulus-Antworten 39
3.3.2 MMN 43
3.4 Diskussion 48

3.5 Schlussfolgerungen 51

4 Lückenerkennung 53
4.1 Einleitung 53
4.2 Methoden 55
4.2.1 Teilnehmer 55
4.2.2 Subjektiver Test: Lückenerkennung 55
4.2.3 Objektiver Test: AEP-Messungen 56
4.3 Ergebnisse 59
4.3.1 Schwelle der Lückenerkennung 59
4.3.2 AEP-Charakteristika 60
4.3.3 Korrelation: Schwelle—AEP 64
4.4 Diskussion 65
4.5 Schlussfolgerungen 67

5 Zerlegung sprachevozierter Potentiale 69
5.1 Einleitung 69
5.2 Methoden 72
5.2.1 Teilnehmer 72
5.2.2 Stimuli und Durchführung 72
5.2.3 EEG-Aufzeichnung 74
5.2.4 AEP-Peak-Erkennung 75
5.2.5 Vergleich der evozierten Potentiale 75
5.2.6 Optimierung mit synthetischen Kurven 76
5.3 Ergebnisse 79
5.3.1 Kortikale Antworten 79
5.3.2 Sprach-Rauschpaare 83
5.3.3 Anpassungsergebnisse 87
5.4 Diskussion 91
5.4.1 Sprach- und Rausch-evozierte Potentiale 91
5.4.2 Hemisphärische Asymmetrien 91
5.4.3 Sprach-Rauschpaare 92
5.4.4 Anpassung der sprachevozierten Potentiale 93
5.4.5 Gewichtungsfaktoren der Anpassung 94
5.4.6 Zusammenfassung 94

6 Zusammenfassung und Ausblick 99

Abkürzungsverzeichnis **103**

Literaturverzeichnis **105**

Abbildungsverzeichnis **117**

Tabellenverzeichnis **119**

Lebenslauf **121**