

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie
der Universität Tübingen

Direktor: Professor Dr. N. Birbaumer

**Neurofeedbacktherapie bei Kindern mit einer
Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung:
Zusammenhänge zwischen den langsamen kortikalen
Potenzialen und dem EEG-Frequenzspektrum**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Nicola Andrea Rumpf
aus Karlsruhe

2006

Dekan: Professor Dr. C. D. Claussen

1. Berichterstatter: Professor Dr. N. Birbaumer

2. Berichterstatterin: Professor Dr. I. Krägeloh-Mann

für Rapha

Verwendete Abkürzungen:

ADHS	=	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung
LP	=	langsameres Potenzial
EEG	=	Elektroenzephalogramm
DSM-IV	=	Diagnostisch-Statistisches Manual Psychischer Störungen IV
ADS	=	Aufmerksamkeitsdefizit-Syndrom
HS	=	Hyperaktivitäts-Syndrom
ICD-10	=	Internationale Klassifikation der Krankheiten
EKP	=	ereigniskorrelierte Potenziale
CNV	=	Contingente Negative Variation
PINV	=	Postimperative Negative Variation
SMR	=	Somatosensorischer Rhythmus
IQ	=	Intelligenzquotient
TAP	=	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung
AID	=	Adaptives Intelligenzdiagnostikum
QT	=	Theta/Beta-Quotient
LP-Gruppe	=	Probanden, denen die langsamen Potenziale zurückgemeldet wurden
QT-Gruppe	=	Probanden, denen der Theta/Beta-Quotient zurückgemeldet wurde
LP-Akt-Gruppe	=	Probanden der LP-Gruppe, die ihre langsamen Potenziale während der Aktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten
N-LP-Akt-Gruppe	=	Probanden der LP-Gruppe, die ihre langsamen Potenziale während der Aktivierungsaufgaben nicht erfolgreich beeinflussen konnten
LP-Deakt-Gruppe	=	Probanden der LP-Gruppe, die ihre langsamen Potenziale während der Deaktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten
QT-Akt-Gruppe	=	Probanden der QT-Gruppe, die ihren Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten
N-QT-Akt-Gruppe	=	Probanden der QT-Gruppe, die ihren Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben nicht erfolgreich beeinflussen konnten
QT-Deakt-Gruppe	=	Probanden der QT-Gruppe, die ihren Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten

1. Einleitung	4
1.1. ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung)	5
1.2. Neurofeedback	6
1.3. EEG-Veränderungen bei ADHS	6
1.3.1. Veränderungen in den ereigniskorrelierten Potenzialen bei ADHS ..	6
1.3.2. Veränderungen in den langsamen Potenzialen bei ADHS	7
1.3.3. Veränderungen in den Frequenzbändern bei ADHS	9
1.4. Neurofeedback bei ADHS	10
1.4.1. Feedback der oszillatorischen EEG-Aktivität	10
1.4.2. Feedback der langsamen Potenziale	11
1.5. Zusammenhänge zwischen den verschiedenen EEG-Parametern	12
1.6. Fragestellung	14
2. Probanden und Methoden	15
2.1. Stichprobe	15
2.2. Versuchsplan	16
2.3. Messinstrumente	17
2.3.1. Fragebögen	17
2.3.2. Tests.....	19
2.3.3. Elterngespräche	21
2.4. Neurofeedbacktraining	23
2.4.1. Die beiden Experimentalgruppen	23
2.4.2. Die Aufgaben, ihre Darstellung und das Feedback	23
2.4.3. Der Ablauf einer Trainingssitzung.....	25
2.4.4. Transferaufgaben	25
2.4.5. Aufbau eines Trials.....	26
2.4.6. Geräte	27
2.4.7. Ableitung des EEG- und EOG-Signals	28
2.4.8. Artefaktkontrolle.....	29

2.4.9. Die Berechnung des Feedbacksignals	31
2.5. Auswertung	32
2.5.1. Auswahl der EEG-Daten	32
2.5.2. Auswertung der EEG-Daten	32
2.5.3. Festlegung des Kriteriums für die Gruppenzuteilung der Probanden.....	34
3. Ergebnisse.....	35
3.1. Bildung der Untergruppen	36
3.2. Die LP-Kinder	39
3.2.1. Der Theta/Beta-Quotient in der gesamten LP-Gruppe	39
3.2.2. Theta- und Beta-Aktivität der LP-Akt-Gruppe	42
3.2.3. Der Theta/Beta-Quotient der N-LP-Akt-Gruppe.....	53
3.2.4. Der Theta/Beta-Quotient der LP-Deakt-Gruppe	54
3.3. Die QT-Kinder.....	55
3.3.1. Das langsame Potenzial der gesamten QT-Gruppe.....	55
3.3.2. Das langsame Potenzial der QT-Akt-Gruppe	57
3.3.3. Das langsame Potenzial der N-QT-Akt-Gruppe	63
3.3.4. Das langsame Potenzial der QT-Deakt-Gruppe	64
3.4. Regressionanalyse der Theta- und Beta-Aktivität und dem langsamen Potenzial.....	65
3.4.1. LP-Gruppe	65
3.4.2. QT-Gruppe	68
4. Diskussion	70
4.1. Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse in beiden Trainingsgruppen.....	70
4.2. Mögliche Erklärungen für die gefundenen Zusammenhänge zwischen LP und Frequenzbändern	71
4.3. Vergleich mit anderen Studienergebnissen	73
4.4. Fazit.....	74

Inhaltsverzeichnis

5. Zusammenfassung.....	77
6. Literaturverzeichnis	79
7. Anhang.....	85

1. Einleitung

Diese Arbeit ist Teil einer Therapiestudie, in der zwei Gruppen von Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung (ADHS) an zwei Arten von Neurofeedbacktraining teilnahmen. Der einen Gruppe wurden langsame kortikale Potenziale (LP), der anderen Gruppe die Aktivität des Theta- und Beta-Frequenzbandes zurückgemeldet. Ziel der Studie war zu prüfen, ob die Kinder es lernen würden, die ihnen zurückgemeldeten EEG (Elektroenzephalogramm) –Parameter willkürlich in die gewünschte Richtung zu beeinflussen und in der Folge Verbesserungen in der klinischen Symptomatik zu erwarten wären.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, inwieweit bei der Neurofeedbacktherapie Veränderungen im jeweils nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter auftraten. Die Gruppe, die LP zurückgemeldet bekam, soll auf Veränderungen in den Frequenzbändern, die Gruppe die Frequenzbänder zurückgemeldet bekam, auf Veränderungen in den LP untersucht werden. Bevor ich auf die zum Verständnis dieser Fragestellung wesentlichen Grundlagen eingehe, möchte ich auf die anderen Arbeiten im Rahmen dieser Studie hinweisen.

- „Train your brain: Durchführung eines Neurofeedbacktrainings für Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit- und/oder Hyperaktivitäts-Impulsivitätsstörung (ADHS)“ von Ulrike Leins
- „Prädiktoren für die kortikale Selbstregulation und klinische Verbesserung“ von Gabriella Goth
- „Stabilität der kortikalen Selbstregulation und des Therapieerfolgs“ von Christoph Klinger
- „Selbstregulation der langsamen kortikalen Potenziale bei Kindern mit und ohne ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung)“ von Nadine Danzer
- „Die Atmung als Artefaktquelle bei SCP-Biofeedback-Verfahren“ von Cornelia Weber

1.1. ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung)

Die Störung findet sich praktisch in jedem Lebensalter, weist jedoch im Jugend- und Kindesalter höhere Prävalenzen auf. So fand Wender (2002) bei 6-12jährigen eine Prävalenz von 4-12%, was die Erkrankung zu einer der am häufigsten diagnostizierten Störungen im Kindes- und Jugendalter macht. Nach dem DSM-IV (Diagnostisch Statistisches Manual Psychischer Störungen nach Saß et al., 1996) stellen Unaufmerksamkeit und/oder Hyperaktivität und Impulsivität Hauptmerkmale der Erkrankung dar. Üblicherweise findet die Diagnostik in Anlehnung an dieses Manual statt, wonach eine bestimmte Anzahl von Kriterien für Unaufmerksamkeit und/oder Hyperaktivität/Impulsivität erfüllt sein muss. Außerdem muss die Erkrankung vor dem 6.Lebensjahr aufgetreten sein und die krankheitstypischen Probleme in mindestens 2 von 3 Lebensbereichen (wie Familie, Schule und Freizeit) vorliegen. Andere Ursachen, die zu einer ähnlichen Symptomatik führen können, müssen ausgeschlossen werden.

Je nachdem, wie viele Kriterien für Unaufmerksamkeit und/oder Hyperaktivität/Impulsivität erfüllt sind, ergeben sich folgende drei Untergruppen:

- der unaufmerksame Typ (ADS)
- der hyperaktiv/impulsive Typ (HS)
- und der gemischte Typ (ADHS, wobei diese Abkürzung im folgenden auch als Überbegriff für alle drei Gruppen verwendet wird)

Wird die ICD-10 (Internationale Klassifikation der Krankheiten) für die Diagnostik verwendet, ergeben sich andere Untergruppen. Hiernach sind in allen Untergruppen Symptome für Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität vorhanden. Das Vorhandensein einer Störung des Sozialverhaltens entscheidet über die Zugehörigkeit zur einen oder anderen Gruppe. Auf die ICD-10 wird allerdings nicht näher eingegangen, da in dieser Studie das DSM-IV zur Diagnostik verwendet wurde.

Eine ausführlichere Beschreibung des Krankheitsbildes kann bei Lauth und Schlottke (2002) und Barkley (1998) nachgelesen werden.

1.2. Neurofeedback

Neurofeedback ist die Erfassung des EEG und die Rückmeldung (Feedback) bestimmter Parameter an den Probanden. Das Feedback kann sowohl visuell als auch akustisch erfolgen. Durch diese Rückmeldung soll die willkürliche Einflussnahme auf unbewusst ablaufende Vorgänge, wie z.B. die Aktivierung und Deaktivierung des Kortex oder einzelner Areale, erlernt werden.

Dass dies möglich ist, konnte bereits für ereigniskorrelierte Potenziale (EKP) (Birbaumer et al., 1981), LP (Elbert et al., 1980) und Frequenzbänder (Egner und Gruzelier, 2001) gezeigt werden.

Als Therapiekonzept fand das Neurofeedback unter anderem Anwendung in der Behandlung von Epilepsiepatienten (Kotchoubey et al., 1999b) und in der Behandlung von ADHS (Lubar et al., 1995, Monastra et al., 2002, Fuchs et al., 2003, Thompson und Thompson, 1998).

1.3. EEG-Veränderungen bei ADHS

In zahlreichen Studien wurden EEG-Veränderungen bei Kindern mit ADHS gefunden, aufgrund derer sich zumindest Teile der Symptomatik erklären lassen. Ziel einer Neurofeedbacktherapie bei ADHS ist die Korrektur dieser Veränderungen unter der Annahme, dass damit auch eine Verbesserung der Symptomatik einhergeht.

1.3.1. Veränderungen in den ereigniskorrelierten Potenzialen bei ADHS

Bei den EKP handelt es sich um Potenzialverschiebungen, die mit einer Latenz von 10ms bis 1s (Birbaumer und Schmidt, 2003) als Antwort auf einen Reiz im EEG auftreten. Je nach Latenz lassen sich verschiedene EKP unterscheiden (s. Abbildung 1) und bestimmten Stufen der Reizverarbeitung zuteilen. Im Folgenden wird nur auf die späten EKP eingegangen, deren Latenz, Amplitude und Topographie von psychischen Variablen abhängig sind und die bei ADHS vielfache Veränderungen aufweisen.

So sind die Amplituden der N100 (Satterfield et al., 1994), der N200 (Satterfield et al., 1994 und Lazzaro et al., 2001) und der P300 (Satterfield et al., 1994,

Brandeis et al., 2002 und Loisselle et al., 1980) bei ADHS-Patienten nach aufgabenrelevanten Reizen kleiner als bei gesunden Probanden. Auch ließ sich bei den Patienten mit ADHS keine Zunahme der Amplitude (N100 bei Loisselle et al., 1980, N200 und P300 bei Satterfield et al., 1994) nach aufgabenrelevanten Reizen im Vergleich zu aufgabenirrelevanten Reizen finden, wie sie bei gesunden Probanden gefunden wurde. Für die N200 nach Zielreizen fanden Johnstone et al. (2001) und Karayanidis et al. (2000) auch eine verlängerte Latenz bei ADHS.

Um die Ergebnisse zu interpretieren, muss man die EKP bestimmten Stufen der Reizverarbeitung zuordnen:

Die N100 tritt vor allem nach aufgabenrelevanten Reizen über den jeweiligen primären sensorischen Projektionsarealen auf (Birbaumer und Schmidt, 2003). Sie wird als Maß für die selektive Aufmerksamkeit gesehen (Rockstroh et al. 1989). Ihre kleinere Amplitude bei ADHS kann also als Hinweis auf ein Defizit in diesem Bereich verstanden werden.

Die N200 spiegelt den Vergleich des neuen Reizes mit im Langzeitgedächtnis gespeicherten Reizmustern wieder (Birbaumer und Schmidt, 2003). Die Amplitudenreduktion kann also als ein Defizit im Bereich der Reizdiskrimination interpretiert werden (Satterfield et al., 1994), während die verlängerte Latenz auf eine zeitliche Verzögerung der Reizdiskrimination hinweist.

Die P300 ist sicher das am besten untersuchte EKP und steht nach Birbaumer und Schmidt (2003) für die Korrektur des gespeicherten Reizmusters. Sie ist wie die N100 und N200 abhängig von der Aufmerksamkeit. Von Satterfield et al. (1994) wird sie im Zusammenhang mit Lernvorgängen und Gedächtnis gesehen. Ihre Reduktion bei ADHS kann also auf eine Beeinträchtigung dieser Funktionen hindeuten.

1.3.2. Veränderungen in den langsamen Potenzialen bei ADHS

Bei den LP handelt es sich um sehr langsame Potenzialverschiebungen, die mit einer relativ großen Latenz (0,5 bis mehrere Sekunden) nach einem Reiz auftreten (s. Abbildung 1) (Rockstroh et al., 1989). Sie können allerdings auch Willkürbewegungen vorausgehen oder spontan auftreten.

Dumais-Huber und Rothenberger (1992) untersuchten die CNV (Contingent Negative Variation) (s. Abbildung 1), welche normalerweise im freien Intervall zwischen Warnton und Zielreiz auftritt und aus einem frühen (CNV1) und einem späten (CNV2) negativen Gipfel besteht. Es handelt sich hierbei um eine spezielle Versuchsanordnung, in der ein erster Ton (Warnton) ankündigt, dass nach einem bestimmten Zeitintervall ein zweiter Ton (Zielreiz) ertönt, auf den meist motorisch reagiert werden muss. Die CNV1 wird mit der Orientierungsreaktion in Zusammenhang gebracht, während die CNV2 mit der Vorbereitung einer Reaktion assoziiert ist (Birbaumer et al., 1990). Die Amplituden der CNV1 als auch der CNV2 sind bei ADHS im Vergleich zu anderen untersuchten Gruppen zentral stärker ausgeprägt als frontal. Dumais-Huber und Rothenberger (1992) deuten dies als Hinweis auf ein Defizit im Frontallappen.

Perchet et al. (2001) stellten in ihrer Studie das Fehlen einer langsamen Negativierung vor nicht angekündigten Zielreizen fest, die eine motorische Reaktion erfordern. In der Kontrollgruppe ließ sich diese Negativierung nachweisen und wurde als CNV oder Bereitschaftspotenzial interpretiert. Da die oben beschriebenen, mit der CNV assoziierten, kognitiven Vorgänge, Teil der exekutiven Funktionen sind (Perchet et al., 2001), weist ihr Fehlen bei ADHS auf ein Defizit in diesem Bereich hin.

Johnstone et al. (2003) fanden bei ADHS-Kindern vom gemischten Typ eine im Vergleich zur Kontrollgruppe nach akustischen Reizen reduzierte frühe Negativierung und eine reduzierte späte langsame Positivierung.

Dumais-Huber und Rothenberger (1992) untersuchten in ihrer Studie auch die PINV (Postimperative Negative Variation), welche unter bestimmten Bedingungen, z.B. Unkontrollierbarkeit des Zielreizes, nach der CNV auftreten kann.

Außer der wie erwartet größeren PINV in allen Gruppen bei Unkontrollierbarkeit des Zielreizes, fanden sie bei ADHS-Kindern und Kindern mit multiplen Tics einen signifikanten Shift der Amplitude nach frontal. Trotz dieses Shifts blieb die Aktivität über Cz bei der ADHS-Gruppe im Vergleich mit den anderen Gruppen höher.

Ein weiterer Unterschied fiel bei der Habituation der PINV auf. Während bei gesunden Kontrollkindern und Kindern mit multiplen Tics die PINV bei ständiger Unkontrollierbarkeit des Zielreizes habituierte, war dies bei der ADHS-Gruppe nicht nachweisbar.

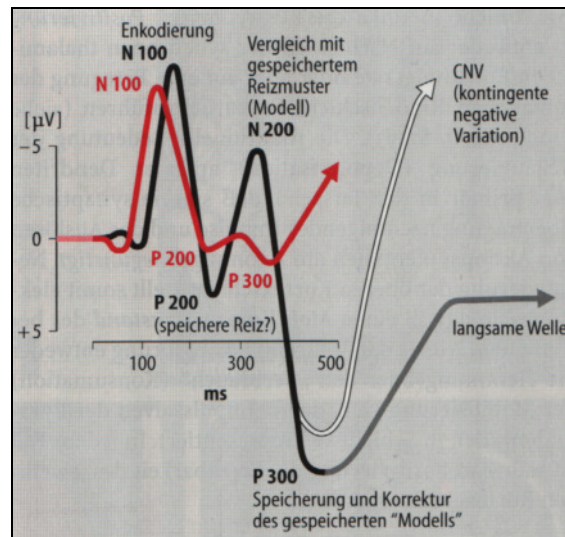


Abbildung 1

EKP und LP auf einen akustischen Reiz. *Schwarz* auf einen aufgabenrelevanten Ton, *rot* derselbe Ton ohne Bedeutung (aus Birbaumer und Schmidt, 2003)

1.3.3. Veränderungen in den Frequenzbändern bei ADHS

Die meisten Studien berichten bei Kindern mit ADHS über vermehrte Theta-Aktivität und verminderte Alpha- und Beta-Aktivität im Vergleich zu gesunden Kindern (Barry et al., 2003).

So fanden Chabot und Serfontein (1996) und Clarke et al. (1998 und 2001) eine erhöhte Theta-Aktivität bei geschlossenen Augen, während Mann et al. (1992) eine erhöhte Theta-Aktivität bei geöffneten Augen, und zwar vor allem beim Zeichnen und Lesen, nachwies.

Der Unterschied zwischen Kindern mit ADHS und gesunden Kindern war meist frontal am größten (Chabot und Serfontein, 1996), was die von Dumais-Huber und Rothenberger (1992) postulierte Dysfunktion des Frontallappens bestätigt. Clarke et al. (1998 und 2001) fanden zusätzlich einen Abfall der Alpha-(mit dem

größten Unterschied zu gesunden Kindern posterior) und Beta-Aktivität (mit dem größten Unterschied zu gesunden Kindern frontal), während Mann et al. (1992) einen Abfall der Beta1-Aktivität (mit dem größten Unterschied zu gesunden Kindern temporal) feststellten. Als Beta-1-Aktivität wird der tiefere Anteil des Beta-Frequenzbandes von 15 bis 18 Hz bezeichnet.

Monastra et al. (1999) und Monastra und Lubar (2001), sowie Lubar (1991) fanden den Theta/Beta-Quotienten vor allem beim Zeichnen, aber auch beim Lesen, Zuhören und bei Fixation eines Punktes, erhöht. Clarke et al. (2001) fanden in einer Versuchsbedingung mit geschlossenen Augen einen erhöhten Theta/Beta-Quotienten und einen erhöhten Theta/Alpha-Quotienten bei ADHS. Die Ergebnisse dieser Studien weisen allesamt eine vermehrte Aktivität langsamer Frequenzbänder und verringerte Aktivität schneller Frequenzbänder bei ADHS nach, was als Zeichen für eine kortikale Untererregung bei ADHS interpretiert wird (Barry et al., 2003).

Außerdem gibt es einige Studien, die über eine veränderte Kohärenz bei ADHS, und zwar sowohl inter- als auch intrahemisphärisch, berichten (Chabot und Serfontein, 1996, Barry et al., 2002).

1.4. Neurofeedback bei ADHS

1.4.1. Feedback der oszillatorischen EEG-Aktivität

In der Neurofeedbacktherapie bei ADHS wurde bisher vor allem im Bereich der Frequenzbänder angesetzt. In den meisten Studien wurden die Frequenzbänder Beta und Theta zurückgemeldet, wobei Beta verstärkt und Theta vermindert werden sollte. Beispiele dafür sind die Studien von Lubar et al. (1995), Monastra et al. (2002) und Thompson und Thompson (1998), wobei in der letztgenannten bei manchen Kindern anstelle des Beta-Rhythmus der Somatosensorische Rhythmus (SMR, bezeichnet den Frequenzbereich von 12 bis 15 Hz) und anstelle des Theta-Rhythmus der Alpha-Rhythmus zurückgemeldet wurde. Fuchs et al. (2003) führten ein Neurofeedbacktraining mit dem Ziel einer Verstärkung des SMR und des Beta-Rhythmus durch.

In den genannten Studien fanden sich nach der Neurofeedbacktherapie sowohl Verbesserungen im Verhalten als auch in Aufmerksamkeitstests. In Studien, in denen vor und nach der Therapie der Intelligenzquotient (IQ) bestimmt wurde, fanden sich auch dort Verbesserungen (Fuchs et al., 2003, Thompson und Thompson, 1998 und Lubar et al., 1995). Monastra et al. (2002) und Thompson und Thompson (1998) verglichen zusätzlich den Theta/Beta-Quotienten vor und nach der Therapie und fanden eine signifikante Abnahme.

Egner und Gruzelier (2001) konnten in einer Studie mit gesunden Probanden zeigen, dass die Neurofeedbacktherapie mit dem Ziel einer Verstärkung des SMR und des Beta1-Frequenzbandes zu einer Vergrößerung der P300-Amplitude führt. Die Zunahme der Größe korrelierte positiv mit dem Lernerfolg im Neurofeedbacktraining. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass bei Verstärkung des SMR und Beta1-Frequenzbandes eine bessere Aufmerksamkeitsleistung erreicht wird.

1.4.2. Feedback der langsamen Potenziale

Um verständlich zu machen, warum ein Neurofeedbacktraining der LP bei ADHS sinnvoll erscheint, soll zunächst das Modell von Rockstroh et al. (1989) skizziert werden.

Danach spiegeln LP die Aktiviertheit kortikaler Neuronenverbände wider, wobei negative Potenziale für eine hohe Aktiviertheit und positive Potenziale für eine niedrige Aktiviertheit, bzw. Hemmung des Kortex oder einzelner Kortexareale stehen. Kortexbereiche, über denen ein negatives Potenzial abgeleitet wird, sind demnach schon „voraktiviert“, oder anders ausgedrückt, besitzen eine niedrigere Erregungsschwelle. Sie sind demnach besser auf eine folgende Aufgabe vorbereitet, und können diese effizienter lösen.

So konnte in Versuchen, in denen während spontaner positiver und negativer LP Aufgaben gestellt wurden, gezeigt werden, dass die Aufgaben während negativer LP schneller und fehlerfreier gelöst wurden, als während positiver LP (Birbaumer et al., 1990). Das gleiche wurde an Probanden gezeigt, die die willkürliche Kontrolle ihrer LP durch Neurofeedback erlernt hatten (Rockstroh et al., 1982).

Kropp et al. (2001) fanden einen Zusammenhang zwischen der Größe negativer LP und der Aufmerksamkeit in Form einer positiven Korrelation zwischen der Amplitude der CNV1 und dem Abschneiden in einem Test für selektive Aufmerksamkeit und Daueraufmerksamkeit.

Ergenoglu et al. (1998) stellten fest, dass die P300-Amplitude, welche auch im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit gesehen werden kann, während negativer LP größer ist als während positiver LP.

Diese Ergebnisse und die Tatsache, dass ADHS-Kinder Aufgaben häufig weniger effizient lösen als gesunde Kinder (Brandeis et al., 2002, Lazzaro et al., 2001, Loiselle et al., 1980 und Satterfield et al., 1994), lassen vermuten, dass ADHS-Kinder von einer Neurofeedbacktherapie der LP profitieren könnten.

Einen direkten Zusammenhang zwischen der ADHS-Symptomatik und einem bestimmten LP, der CNV, konnten Lauth et al. (1996) feststellen. ADHS-Kinder, die an einer kognitiv-behavioralen Therapie teilgenommen hatten, zeigten danach Verbesserungen im Verhalten und eine normalisierte CNV in einem Aufmerksamkeitstest.

Auch die in Kapitel 1.3.2 beschriebenen LP-Veränderungen bei ADHS, bei denen es sich unter anderem um eine Reduktion negativer LP, wie der CNV und des Bereitschaftspotenzials handelt, lassen ein Neurofeedbacktraining der LP sinnvoll erscheinen.

1.5. Zusammenhänge zwischen den verschiedenen EEG-Parametern

Spencer und Polich (1999) fanden in einer Versuchsanordnung, in der der Proband akustische Reize verarbeiten musste, eine Zunahme der Delta- und Theta-Aktivität, wenn die P300-Amplitude zunahm. Ähnlich stellten Klimesch et al. (2000) nach Zielreizen in Gedächtnisaufgaben sowohl eine größere P300 als auch eine Zunahme der Delta- und Theta-Aktivität fest. Bei Klimesch et al. (2000) wurden die P300 und die Zunahme der Delta- und Theta-Aktivität im gleichen Zeitfenster und mit der gleichen räumlichen Verteilung gefunden.

Lazzaro et al. (2000) untersuchten den Zusammenhang zwischen der Theta-Aktivität und der P300, der N200 und der P200 bei ADHS. Im Vergleich mit

gesunden Jungen wies die ADHS-Gruppe eine signifikant höhere Theta-Aktivität über Fz, Cz und Pz auf. Die P300- und N200-Amplituden waren über diesen Orten kleiner, wobei die Unterschiede nur für die N200-Amplitude signifikant wurden. Auch die Latenzen waren verzögert. Die P200-Amplitude war bei der ADHS-Gruppe signifikant größer. Lazzaro et al. (2000) stellten bei der ADHS-Gruppe zahlreiche signifikante Korrelationen zwischen EKP und Theta-Aktivität fest, während für die Kontrollgruppe keine Korrelationen gefunden werden konnten. So waren die Latenzen von N200, P200 und P300 an bestimmten Elektrodenpositionen positiv mit der Theta-Aktivität korreliert, was auf Zusammenhänge zwischen der erhöhten Theta-Aktivität und den veränderten EKP hinweist. Außerdem war die P300-Amplitude positiv und die N200-Amplitude negativ mit der Theta-Aktivität korreliert.

Zum Zusammenhang zwischen LP und EKP ließ sich nur die Studie von Ergenoglu et al. (1998) finden. Wie sie feststellten, wird die Amplitude der P300 von der Polarität der LP beeinflusst. In einem auditorischen Oddball-Versuch, bei dem die Probanden abweichende Töne zählen sollten, war die Amplitude während negativer LP signifikant höher als während positiver LP. Auch ihre Topographie veränderte sich mit der Polarität der LP. Die gleichen LP-Effekte, wenn auch in geringerem Ausmaß, fanden sie für die P200, nicht jedoch für die N100.

Genauso gibt es nur eine Studie über den Zusammenhang zwischen LP und Frequenzbändern. Kotchoubey et al. (1999a) untersuchten, inwieweit das Neurofeedback von LP bei Epilepsiepatienten mit parallelen Veränderungen in den Frequenzbändern einhergeht. In den Sitzungen 21 bis 35 wurden größere Werte für die Alpha-, Beta-, Delta- und Theta-Power bei verlangter Positivierung gefunden als bei verlangter Negativierung. Außerdem ergab sich eine Korrelation zwischen den LP und der Alpha-Power.

1.6. Fragestellung

Die in Kapitel 1.5 beschriebenen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen EEG-Parametern lassen vermuten, dass sich auch in dieser Studie Zusammenhänge zwischen LP und Frequenzbändern finden lassen werden.

Auch Gemeinsamkeiten wie das spontane Auftreten und die nachgewiesene Beeinflussung der Aufgabenbewältigung, als auch der Amplitude bestimmter EKP, sind ein Hinweis darauf, dass die beiden EEG-Parameter nicht als voneinander unabhängige Phänomene zu betrachten sind.

In der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht werden, inwieweit bei der Neurofeedbacktherapie Veränderungen im jeweils nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter auftreten. Es soll geprüft werden, ob das Feedbacktraining des einen EEG-Parameters, bzw. die Veränderung dieses EEG-Parameters, zu Veränderungen im anderen EEG-Parameter führt.

2. Probanden und Methoden

Da diese Studie Teil eines Gemeinschaftsprojekts war, konnten Teile dieses Kapitels aus anderen Arbeiten übernommen werden. Die Kapitel 2.1 bis „Fragebögen für LehrerInnen“ in Kapitel 2.3.1 entstammen der Arbeit von Goth (2005), die Kapitel „Fragebögen für Kinder“ in Kapitel 2.3.1 bis Kapitel 2.3.3 entstammen der Arbeit von Klinger (2005). Da sich die Stichproben in den genannten Arbeiten unterscheiden, musste Kapitel 2.1 modifiziert werden.

2.1. Stichprobe

Die Studie wurde am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie der Universität Tübingen durchgeführt.

Die Stichprobe bestand aus 36 Kindern im Alter von 8 bis 13 Jahren, die die Diagnosekriterien für ADHS oder ADS gemäß DSM-IV erfüllten. Das Neurofeedbacktraining wurde mit zwei Experimentalgruppen durchgeführt. Bei der einen Gruppe wurden langsame Potenziale (LP-Gruppe), bei der anderen der Theta/Beta-Quotient (QT-Gruppe) zurückgemeldet. Die Patienten wurden randomisiert den beiden Experimentalgruppen zugewiesen. Dabei wurde eine Parallelisierung nach Subtyp, Alter, Geschlecht und Intelligenzquotient vorgenommen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die jeweiligen Stichproben.

Tabelle 1 Beschreibung der beiden Experimentalgruppen

	LP-Gruppe	QT-Gruppe
Geschlecht (N)	männlich: 14 weiblich: 4	männlich: 14 weiblich: 4
Alter (Jahre)	Mittelwert: 9,22 Range: 8-13	Mittelwert: 9,11 Range: 8-12
Diagnose (N)	ADHS: 15 ADS: 3	ADHS: 15 ADS: 3
Intelligenzquotient (nach HAWIK-III-R)	Mittelwert: 100,61 Range: 85-116	Mittelwert: 100,17 Range: 82-113
Begleitmedikation	Anzahl: 1 Art: Ritalin Dosis: 28 mg/d	Anzahl: 1 Art: Ritalin Dosis: 20 mg/d

2.2. Versuchsplan

Das Training der beiden Experimentalgruppen fand von Oktober 2001 bis Mai 2004 statt. Es erstreckte sich jeweils über drei zweiwöchige Phasen, wobei pro Phase 10 Sitzungen durchgeführt wurden. Eine Sitzung dauerte etwa eine Stunde.

Vor der ersten Trainingsphase (Screening), unmittelbar nach dem Training (Post 1) und ein halbes Jahr nach Beendigung des Trainings (Post 2) wurden Fragebögen an Eltern, Kinder und Lehrer ausgegeben, Tests durchgeführt und Elterngespräche vorgenommen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über den Studienablauf.

Tabelle 2 Studienablauf; modifiziert nach Leins 2004

Trainingsabschnitt	Inhalt	Zeitdauer
Screening	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebögen • Tests • Elterngespräch 	ca. 2 Wochen
Neurofeedback-training	Trainingsphase I: <ul style="list-style-type: none"> • 10 Sitzungen mit durchschnittlich • 4 Durchgängen (Runs) • Plazebofragebögen 	2 Wochen
	Trainingspause, Transferübungen	4-6 Wochen
	Trainingsphase II: <ul style="list-style-type: none"> • 10 Sitzungen mit durchschnittlich • 4 Durchgängen (Runs) • Placebofragebögen 	2 Wochen
	Trainingspause, Transferübungen	4-6 Wochen
	Trainingsphase III: <ul style="list-style-type: none"> • 10 Sitzungen mit durchschnittlich • 4 Durchgängen (Runs) • Durchführung von Transferübungen • Plazebofragebögen 	2 Wochen
Post 1	<ul style="list-style-type: none"> • Fragebögen • Tests • Elterngespräch 	ca. 2 Wochen
Post 2	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Trainingssitzungen • Fragebögen • Tests • Elterngespräch 	ca. 2 Wochen

2.3. Messinstrumente

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Fragebögen und die Tests, die im Screening und in den beiden Nachuntersuchungen eingesetzt wurden.

2.3.1. Fragebögen

Die Fragebögen dienen neben der Diagnostik auch der Ermittlung von Prädiktoren und der Messung der Verhaltensveränderung. Zusätzlich zu Elternfragebögen wurden Fragebögen von Kindern und Lehrern ausgefüllt, um ein möglichst breites Spektrum an Informationen aus verschiedenen Lebensbereichen zu erfassen.

Fragebögen für Eltern

Mit dem *Anamnesefragebogen zur Entwicklung bei Schulkindern* (Anders und Bahn Müller, 2000b) werden Informationen über Schwangerschaft, Geburt und Entwicklung bis zum Schulalter und die familiäre Situation erhoben. Hierbei wird besonders auf für ADHS typische Verhaltensauffälligkeiten geachtet, da die Diagnostik nach DSM-IV das Auftreten einiger Symptome bereits vor dem 7. Lebensjahr voraussetzt. Außerdem trägt der Fragebogen dazu bei, dass Aufmerksamkeits- und Impulsivitäts-/ Hyperaktivitätsprobleme als reaktive Störungen ausgeschlossen werden können.

Anhand des *DSM-Fragebogens für die Eltern* (Wittchen, 1989, modifiziert von Lauth & Schlottke) werden die im DSM-IV angegebenen Kriterien für ADHS erfasst.

Mit Hilfe von der *Elternversion des Kindl-Fragebogens zur Lebenszufriedenheit* (Ravens-Sieberer, 2003) lässt sich die subjektive gesundheitsbezogene Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen anhand von 6 Dimensionen (Körper, Psyche, Selbstwert, Familie, Freunde und schulische Aspekte) erfassen.

Der *Fragebogen zur Problembelastung und Problemhäufigkeit* (Eyberg und Pincus, 1999) erfragt die Häufigkeit problematischer Verhaltensweisen und das Ausmaß an Belastung, das durch diese für die Eltern entsteht.

Die *Conners' Rating Scale* (Conners, 1997, modifiziert von Lauth & Schlottke) stellt eine Ergänzung des Fragebogens zur Problembelastung und Problemhäufigkeit nach Eyberg und Robinson (1983) dar. Sie erfragt die Ausprägung problematischer Verhaltensweisen mit Hilfe eines Protokollbogens, den die Eltern an drei aufeinander folgenden Tagen ausfüllen.

Der *Fragebogen zum Erziehungsverhalten* ist eine von Miller (2000) erstellte deutsche Fassung der *Parenting Scale* von Arnold et al. (1993). Er überprüft verschiedene Erziehungsstrategien beim Umgang mit unangemessenem Verhalten.

Fragebogen für Lehrer/innen

Der *Fragebogen für Lehrer/innen* (Anders und Bahn Müller, 2000a) ist notwendig, da das DSM-IV eine Beeinträchtigung durch die ADHS-Symptomatik in zwei oder mehr Lebensbereichen fordert. Lehrer/innen beurteilen das Verhalten in der Schule in 6 Dimensionen (Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität, Impulsivität, Emotionalität, Intellektuelle Leistung, Sozialverhalten). Ferner werden Informationen über den aktuellen Notenstand erhoben.

Fragebögen für Kinder

Barkley und Edwards (1998) bezweifeln, dass junge ADHS-Patienten eine geeignete Informationsquelle zur Diagnostik sind, da sie meist eine geringe Krankheitseinsicht haben. Auch Kuhlmann (1998) fand in ihrer Studie, dass sich die Einschätzungen der Eltern und der Kinder zumeist nicht decken. Deshalb wurden die von den Kindern erhobenen Daten in unserer Neurofeedbackstudie nicht zur Diagnostik, sondern nur für die Erfolgsmessung und zur Bestimmung möglicher Prädiktoren verwendet.

Im *DSM-Fragebogen für das Kind* (Wittchen, 1989, modifiziert von Lauth & Schlottke), werden 16 Items, die sich an den DSM-III-R-Kriterien für ADHS orientieren, vom Kind mit „stimme zu“ oder „stimme nicht zu“ bewertet. Kuhlmann (1998) weist darauf hin, dass die Kriterien für Hyperaktivität/Impulsivität ausreichend, diejenigen für Unaufmerksamkeit jedoch nur unzureichend repräsentiert sind.

Die *Kinderversion des Kindl-Fragebogens zur Lebenszufriedenheit* (Ravens-Sieberer, 2003) ist eine kindgerecht formulierte Version des bereits beschriebenen Fragebogens für die Eltern.

Im *Fragebogen zur Händigkeit* (Oldfield, 1971) wird anhand von 12 Items die Händigkeit erfasst.

2.3.2. Tests

Die Tests wurden sowohl im Screening als auch in den beiden Follow-up-Untersuchungen durchgeführt. Dabei sollten mit der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) die subjektiven Daten aus den Fragebögen objektiviert werden. Außerdem wurde ein Intelligenztest durchgeführt.

Die Testdaten aus den Follow-up-Untersuchungen wurden zur Kontrolle des klinischen Erfolgs mit denen aus dem Screening verglichen. Um Einflüsse situativer Faktoren auf die Testergebnisse zu minimieren, wurde darauf geachtet, dass alle Tests eines Probanden zur selben Uhrzeit und gegebenenfalls unter derselben Medikation stattfanden.

Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)

Im Rahmen dieser Studie wurden zu allen 3 Testzeitpunkten folgende 7 Untertests aus der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung, Version 1.7 (TAP, Zimmermann und Fimm, 2002) durchgeführt: Alertness, geteilte Aufmerksamkeit, Go/NoGo, Inkompatibilität, Visuelles Scanning, Reaktionswechsel und Vigilanz. Die Untertests erfassen jeweils verschiedene Komponenten von Aufmerksamkeit, wobei für eine genaue Beschreibung dieser Komponenten und des Testaufbaus auf das entsprechende Testhandbuch verwiesen wird. Für jeden Untertest wurden die mittlere Reaktionszeit, die Stabilität der Reaktionsgeschwindigkeit, Fehlreaktionen und das Auslassen von Reaktionen erfasst und mit den altersentsprechenden Normen aus dem Testhandbuch verglichen.

Földényi et al. (2000) verglichen 20 Kinder mit ADHS mit 20 gesunden Kindern. Die Gruppe der ADHS-Kinder zeigte sowohl häufigere Fehlreaktionen und Auslassungen, als auch eine stärkere intraindividuelle Schwankung zwischen

den Untertests. Die Unterschiede waren besonders signifikant in den beiden Untertests Go/NoGo und Reaktionswechsel. Die Spezifität dieser beiden Untertests lag bei 93%, die Sensitivität bei 86%. Außerdem korrelierten die Ergebnisse der TAP stark mit Einschätzungen der Eltern und mit Bewertungen der Lehrer. Die TAP scheint also gut zwischen Kindern mit ADHS und gesunden Kontrollkindern unterscheiden zu können. Allerdings war die Stichprobe der genannten Studie klein, so dass die Ergebnisse als noch vorläufig betrachtet werden müssen.

Intelligenztests

Sowohl im Screening als auch bei der zweiten Follow-up-Untersuchung (Post2) wurde der IQ mit dem HAWIK-III (Tewes et al., 1999) bestimmt. Dieser Test besteht aus 10 Untertests (Bilderergänzen, allgemeines Wissen, Zahlen-Symbol-Test, Gemeinsamkeitenfinden, Bilderordnen, rechnerisches Denken, Mosaik-Test, Wortschatz-Test, Figurenlegen und allgemeines Verständnis) und 3 Zusatztests (Symbolsuche, Zahlennachsprechen, Labyrinth-Test), welche jedoch nicht durchgeführt wurden. Ausgewertet wurde der Test mit den im Testhandbuch angegebenen Normen, wobei wir einen IQ für den Verbalteil, einen für den Handlungsteil und einen Gesamt-IQ bestimmten. Retesteffekte werden für den HAWIK-III nur für ein Intervall von weniger als 6 Monaten zwischen den Tests angegeben. Der Zeitraum zwischen Screening und Post2 beträgt in unserer Studie mindestens 9 Monate, so dass bei Post2 nicht mit durch Retesteffekte verfälschten Ergebnissen zu rechnen ist. Da zwischen Screening und Post1 jedoch nur 14-18 Wochen liegen, wurde bei der Post1-Untersuchung das Adaptive Intelligenzdiagnostikum (AID (Kubinger und Wurst, 2000)) verwendet. Dieses besteht aus 11 Untertests (Alltagswissen, Realitätssicherheit, angewandtes Rechnen, soziale und sachliche Folgerichtigkeit, unmittelbares Reproduzieren, Synonyme finden, kodieren und assoziieren, antizipieren und kombinieren, analysieren und synthetisieren und soziales Erfassen). Der Test wurde so konzipiert, dass nicht kompensierbare Teilleistungsschwächen erkannt werden können, weshalb eigentlich kein Gesamt-IQ bestimmt wird. Bei der Auswertung können T-Werte und

Prozentränge für den besten, den schlechtesten und den zweitschlechtesten Untertest, sowie die Spannungsbreite (Range) der Intelligenzleistung bestimmt werden. Hilfsweise können die T-Werte in einen IQ umgerechnet werden. Die Intelligenztests wurden in dieser Studie eingesetzt, um die Einschlusskriterien (IQ >80) zu überprüfen und mögliche alternative Ursachen der Verhaltensauffälligkeiten und der Schulprobleme abzuklären (Lernschwäche, Hochbegabung, geistige Behinderung). Für die Diagnosestellung ist der IQ ungeeignet. Er wurde als möglicher Prädiktor für das Erlernen von Selbstkontrolle über die Hirnströme und den klinischen Erfolg untersucht. Außerdem diente der Vergleich von vor und nach der Therapie gemessenem IQ als Erfolgsmaß.

2.3.3. Elterngespräche

Das Elterngespräch im Screening diente der Diagnosestellung, der Klärung nicht eindeutiger Antworten in den Fragebögen und der Besprechung von Fragen der Eltern zum Ablauf der Studie. Außerdem wurden die Eltern über die Ergebnisse der Tests und Fragebögen, sowie über ADHS informiert.

Bei den beiden Gesprächen der Follow-up-Untersuchung waren auch die Kinder anwesend. Im Gespräch bei der Post1-Untersuchung wurden die Eltern über die Trainingsergebnisse und die Test- und Fragebogenergebnisse der Post1-Untersuchung informiert. Außerdem wurde mit den Eltern und dem Kind überlegt, in welchen Situationen das Kind die erlernte Fähigkeit zur Gehirnaktivierung bevorzugt einsetzen kann. Zusätzlich wurden wie im Screening Informationen zu den Fragebögen eingeholt und DSM-VI-Kriterien erfragt, wobei explizit nach Verhaltensveränderungen seit Beginn des Neurofeedbacktrainings gefragt wurde.

Im Elterngespräch zum Zeitpunkt der Post2-Untersuchung wurden die Eltern und das Kind erneut über das Abschneiden in den Tests, die Ergebnisse der Fragebögen und den Erfolg in den Post2-Trainingssitzungen informiert. Wiederum wurde nach Veränderungen gefragt und besprochen, ob das Kind seine Fähigkeit zur Gehirnaktivierung angewandt hat.

Tabelle 3 Übersicht über die verwendeten Fragebögen und Tests
 modifiziert nach Leins (2004)

	Fragebögen & Tests	Zeitpunkt	Funktion
Eltern	Anamnesefragebogen zur Entwicklung bei Schulkindern (Anders, A. & Bahn Müller, H., 2000)	Screening	Diagnostik
	DSM-Fragebogen für die Eltern (Wittchen, 1989, modifiziert von Lauth & Schlottke)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle
	Kindl-Fragebögen zur Lebenszufriedenheit; Elternversion (Ravens-Sieberer, 2003)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle
	Conners-Fragebogen (Conners, 1989; modifiziert von Lauth & Schlottke)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle
	Fragebogen zur Problembelastung und Problemhäufigkeit nach Eyberg und Pincus (1999)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle
	Fragebogen zum Erziehungsverhalten nach Arnold et al. (1993; deutsche Fassung Miller, 2000)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Beratung der Eltern
Kinder	DSM-Fragebogen für das Kind (Wittchen, 1989, modifiziert von Lauth & Schlottke)	Screening Post1 Post2	Erfolgskontrolle Prädiktor
	Kindl-Fragebögen zur Lebenszufriedenheit; Kinderversion (Ravens-Sieberer, 2003)	Screening Post1 Post2	Erfolgskontrolle Prädiktor
	Fragebogen zur Händigkeit (Oldfield, 1971)	Screening	
	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung, Version 1.7 (Zimmermann & Fimm, 2002)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle Prädiktor
	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder (HAWIK-III; Tewes et al., 1999)	Screening Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle Prädiktor
	Adaptives Intelligenz Diagnostikum (AID; Kubinger & Wurst, 2000)	Post1	Erfolgskontrolle
Lehrer	Fragebogen für Lehrer/innen (Anders, A. & Bahn Müller, H., 2000)	Screening Post1 Post2	Diagnostik Erfolgskontrolle

2.4. Neurofeedbacktraining

Ein grober Überblick über den Ablauf des Neurofeedbacktrainings lässt sich aus Kapitel 2.2 entnehmen. Hier soll nun genauer auf die technischen Details und die einzelnen Untereinheiten eingegangen werden.

2.4.1. Die beiden Experimentalgruppen

Im Prinzip sollte in beiden Gruppen die willkürliche Beeinflussung der Kortexaktivität erlernt werden. Um dies zu erreichen, bekamen die Probanden in beiden Gruppen wechselnd die Aufgabe ihren Kortex zu aktivieren bzw. zu deaktivieren. Je nach Gruppe wurde die Kortexaktivität aber in anderer Form rückgemeldet.

Die LP-Gruppe:

Hier wurden die LP rückgemeldet. Bei Aktivierungsaufgaben war eine Negativierung des LP verlangt, bei Deaktivierungsaufgaben dementsprechend eine Positivierung des LP.

QT-Gruppe:

Hier wurde der Theta/Beta-Quotient (QT) rückgemeldet. Bei Aktivierungsaufgaben war ein kleiner Theta/Beta-Quotient das Ziel, bei Deaktivierungsaufgaben dementsprechend ein großer.

2.4.2. Die Aufgaben, ihre Darstellung und das Feedback

In den ersten 15 Sitzungen bekamen die Kinder in 50% der Aufgaben die Aufforderung, ihr Gehirn zu aktivieren, während es ab der 16. Sitzung zu 75% Aktivierungs- und zu 25% Deaktivierungsaufgaben waren. Die jeweilige Aufgabenstellung wurde sowohl akustisch als auch optisch auf dem Feedbackmonitor angezeigt. Bei Aufleuchten eines gelben Balkens am oberen Bildschirmrand und dem Wort „hoch“, sollten die Probanden ihren Kortex aktivieren, bei Aufleuchten des Balkens am unteren Bildschirmrand und dem Wort „tief“, entsprechend deaktivieren (s. Abbildung 2). Bei 77% aller Aufgaben erhielten die Probanden akustisches und optisches Feedback darüber, wie gut

sie die Aufgabe bewältigten. Das optische Feedback bestand in einem gelben Ball, der den Bildschirm von links nach rechts durchquerte und dessen vertikale Ablenkung den momentanen Aktivierungsgrad des Probanden anzeigte (s. Abbildung 3). Je näher der Ball dem oberen Balken kam, desto größer war die Kortexaktivität, je näher der Ball dem unteren Balken kam, desto kleiner. Akustisches Feedback bekamen die Probanden in Form eines Tones, dessen Frequenz mit zunehmender Kortexaktivität anstieg.

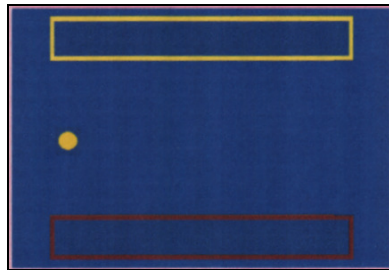


Abbildung 2 Aufgabenstellung

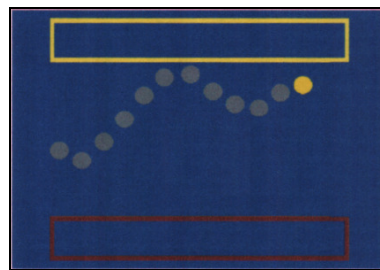


Abbildung 3 optisches Feedback

In den übrigen 23% der Aufgaben erhielten die Probanden weder akustisches noch optisches Feedback, weshalb sie als Transfer-Aufgaben bezeichnet wurden.

Galt eine Aufgabe als richtig gelöst, erschien am Ende der Aufgabe ein Smiley in der Bildschirmmitte und eine Tonfolge war zu hören (s. Abbildung 4). Galt sie als falsch gelöst, blieb der Bildschirm leer (s. Abbildung 5). Außerdem erschien in der Bildschirmmitte ein rotes Kreuz und es erklang ein tiefer Ton, sobald die EEG- und EOG (Elektrookulogramm) -Aktivität bestimmte Werte überschritt (s. Kapitel 2.4.8) und die Aufgabe somit als ungültig bewertet wurde (s. Abbildung 6).

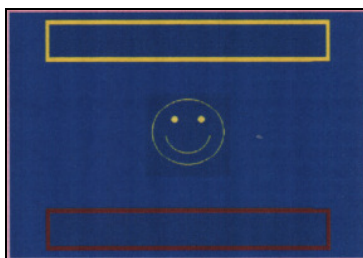


Abbildung 4 „richtig“

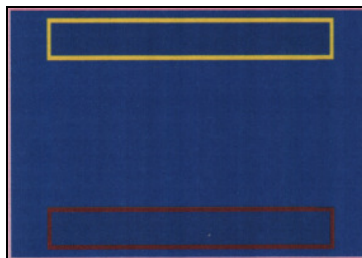


Abbildung 5 „falsch“

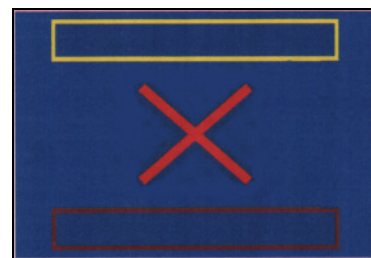


Abbildung 6 „ungültig“

2.4.3. Der Ablauf einer Trainingssitzung

Eine Sitzung bestand im Durchschnitt aus 4 Durchgängen, in denen 38 bis 40mal die Aufgabe gestellt wurde, den Kortex zu aktivieren bzw. zu deaktivieren. Das Kind saß in einem bequemen Stuhl, ca. 1,20 m entfernt von einem 17 Zoll großen Bildschirm. In der ersten Sitzung wurde mit dem Kind der Ablauf und das Lernziel des Trainings besprochen. Außerdem wurde das Kind dazu angeregt, Strategien zu entwickeln, um sein Gehirn zu aktivieren, bzw., je nach Aufgabenstellung, zu deaktivieren. Es handelte sich hierbei meist um konkrete Vorstellungen wie „Achterbahn fahren“ (Aktivierung) oder „ein langweiliges Buch lesen“ (Deaktivierung). Danach wurden die Elektroden befestigt (s. Kapitel 2.4.7). Während des Durchgangs hielt sich der Trainer in einem anderen Raum auf, von wo aus er das Kind über einen Monitor beobachten und außerdem bei Bedarf über eine wechselseitige Sprechverbindung Kontakt aufnehmen konnte. In der kurzen Pause zwischen den Durchgängen bestand die Möglichkeit, über aufgetretene Probleme zu sprechen, neue Strategien zu entwickeln oder das Kind zu loben. Nach den 4 Durchgängen wurde dann die Anzahl der richtig gelösten Aufgaben in Punkte umgerechnet, die das Kind in eine „Belohnungskarte“ eintragen konnte. Die Punkte waren so berechnet, dass die Kinder ungefähr jeden dritten Tag eine solche Karte ausgefüllt hatten und diese gegen eine kleine Belohnung im Wert von ca. 1,50 Euro eintauschen konnten.

2.4.4. Transferaufgaben

Damit die Kinder das Gelernte auch in Alltagssituationen anwenden können, war es wichtig, zusätzlich zu den Transferaufgaben innerhalb eines Durchgangs, weitere Transferübungen in das Therapieprogramm aufzunehmen. So hatten die Kinder die Aufgabe, in den Trainingspausen zwischen den einzelnen Blöcken das im Labor Gelernte zu Hause zu üben. Zwischen dem ersten und zweiten Block sollten sie dreimal am Tag in vorher definierten Situationen ihre Aktivierungs- und Deaktivierungsstrategie anwenden. Zwischen dem zweiten und dritten Block wurde dann nur noch die Aktivierungsstrategie, und zwar in Problemsituationen, wie Hausaufgaben und Klassenarbeiten,

benutzt. Als Anreiz, zu Hause zu üben, bekamen die Kinder einen „Detektivbogen“ als eine Art Trainingsprotokoll mit nach Hause. In diesem konnten sie vermerken, wenn sie geübt hatten und erhielten dafür am Anfang des nächsten Blockes Punkte, welche in die Belohnungskarten eingetragen wurden.

Im dritten Block fand dann im Anschluss an die Trainingssitzung eine Art Hausaufgabenbetreuung statt, in welcher die Kinder ihre Aktivierungsstrategie unter der Aufsicht des Trainers anwenden sollten.

2.4.5. Aufbau eines Trials

Wie bereits erwähnt, wurde in einem Durchgang einer Trainingssitzung 38 bis 40mal die Aufgabe gestellt, den Kortex zu aktivieren bzw. zu deaktivieren. Vor der Aufgabenstellung wurde jedes Mal die Baseline bestimmt und nach der Aufgabenstellung bekam der Proband in den Feedbackaufgaben Information darüber, ob die Aufgabe richtig oder falsch gelöst worden war. Dieser Komplex wurde als Trial bezeichnet.

Aufbau eines Trials in der LP-Gruppe:

Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, war jedes der insgesamt 8 bis 10 Sekunden dauernden Trials wie folgt gegliedert: Am Ende der ersten 2 Sekunden Pause wurde die Baseline bestimmt, mit welcher das LP-Signal in den auf den Aufgabenbeginn folgenden 5,5 Sekunden verglichen wurde. In den Feedbackaufgaben wurde dem Probanden das LP-Signal über das gesamte Aufgabenintervall in Form eines gelben Balles rückgemeldet. In der letzten halben Sekunde der insgesamt 8 Sekunden dauernden Aufgabe, bekam der Proband dann Information darüber, ob die Aufgabe richtig (Smiley) oder falsch (Bildschirm bleibt leer) gelöst worden war bzw. ob die Aufgabe als ungültig bewertet wurde (rotes Kreuz). Als richtig wurde eine Aufgabe dann gewertet, wenn die LP-Amplitude die Baseline je nach Aufgabenstellung in elektrisch positive bzw. negative Richtung überschritt.

Die Auswertung des EEG-Signals erfolgte blockweise, wobei in jedem Block 16 Abtastpunkte bei einer Samplingrate von 256 pro Sekunde zusammengefasst wurden.

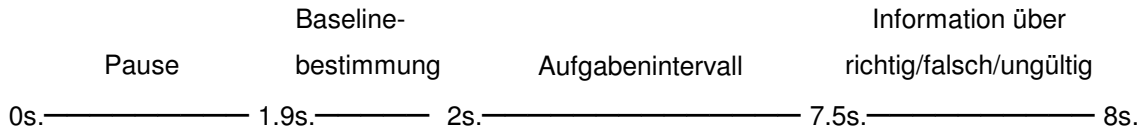


Abbildung 7 Aufbau eines Trials in der LP-Gruppe

Aufbau eines Trials in der QT-Gruppe:

Für die Bestimmung der Baseline wurde hier aufgrund der mit großer Variabilität auftretenden Oszillationen eine längere Zeitdauer vorgezogen. Zum einen wurde das Baselineintervall während des Trials von 0,1s auf 2s verlängert, zum anderen wurde vor dem ersten Trial eines jeden Sitzungstages eine zusätzliche 8s dauernde Baselinebestimmung durchgeführt. Diese erste, in insgesamt 10s errechnete Baseline, wurde zu Beginn jedes neuen Trials mit der neu gemessenen Baseline verrechnet.

Ein weiterer Unterschied im Aufbaufeld betraf das Aufgabenintervall, welches in der QT-Gruppe um 2s länger war (s. Abbildung 8).

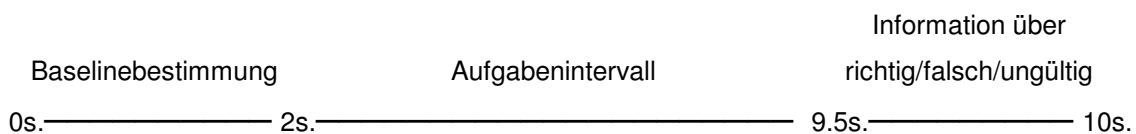


Abbildung 8 Aufbau eines Trials in der QT-Gruppe

2.4.6. Geräte

Die neuronale Gehirnaktivität wurde mit Hilfe von Silber/Silberchlorid-Elektroden abgeleitet und mit dem EEG-Verstärker EEG8 (Contact Precision Instruments) verstärkt. Danach wurde das Signal bei einer Zeitkonstante von 16 s gefiltert (Hochpassfilter 0,01 Hz, Tiefpassfilter 40 Hz) und mit Hilfe des A/D-Wandlers auf den Trainingsrechner übertragen (s. Abbildung 9). Für die weitere Verarbeitung verwendeten wir das TTD (Thought-Translation-Device), ein

Feedbackprogramm, das von Hinterberger et al. (2001) am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie der Universität Tübingen entwickelt wurde. Das Programm sorgt zum einen für die Erfassung und Darstellung gefilterter EEG-Signale und des Grand Averages auf dem Trainingsbildschirm und gibt so die Möglichkeit zur Online-Analyse und Artefaktkontrolle. Zum anderen erstellt es die auditiven und visuellen Feedbackelemente und macht sie für die Versuchsperson hör- bzw. sichtbar. Außerdem ist das Programm für die Organisation der Zeitstruktur des Experiments, die Darstellung der Aufgabe und die Datenspeicherung zuständig. Auch zur statistischen Datenanalyse (s. Kapitel 2.5) wurde dieses Programm verwendet. Außerdem wurde eine Kamera verwendet, die es ermöglichte den Probanden zu beobachten, obwohl sich Trainer und Proband während des Trainings in verschiedenen Räumen aufhielten.

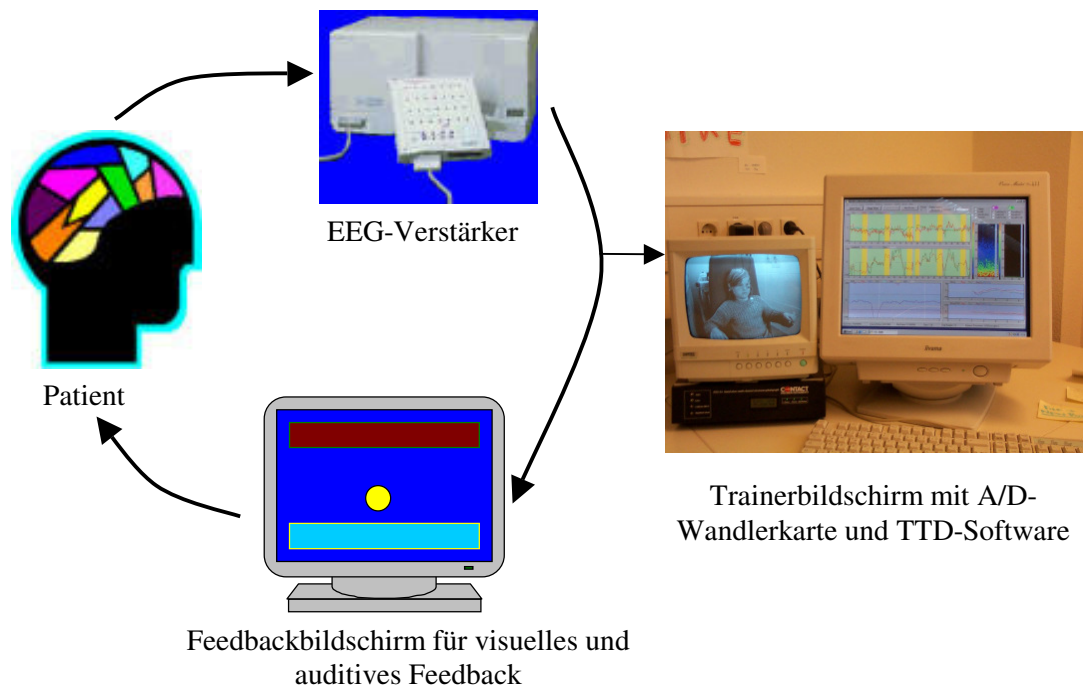


Abbildung 9 Geräteverschaltung (aus Leins, U. 2004)

2.4.7. Ableitung des EEG- und EOG-Signals

Die Elektroden (Silber/Silberchlorid-Napfelektroden) wurden, nach vorheriger Desinfektion und Reinigung der entsprechenden Stelle mit Peelingpaste, nach

dem 10/20-System nach Jasper (1958) platziert. Zur Befestigung und besseren Leitfähigkeit wurde die Elektrodenleitpaste Elefix verwendet. Die Eingangswiderstände der Elektroden mussten unter 5 Kilo-Ohm liegen, bevor mit dem Training begonnen werden konnte.

Als Referenz dienten in beiden Gruppen die über beide Mastoiden oder Ohrfläppchen gemittelten Signale. Als Erdung wurde eine Elektrode an der Stirn befestigt. Bei beiden Gruppen wurden die vertikalen Augenbewegungen und Lidbewegungen (EOG) zur Artefaktkontrolle abgeleitet, wozu über und unter einem Auge je eine Elektrode befestigt wurde.

Für die EEG-Ableitung gab es, je nach Versuchsgruppe und Sitzungstag, zwei verschiedene Varianten. Für Variante 1 (Ableitung nach Hjorth, 1975) wurde eine Elektrode an Cz befestigt und 4 weitere Elektroden auf jeweils der Mitte der Strecke zwischen C3 und F3 (C3f), C4 und F4 (C4f), C3 und P3 (C3p) und C4 und P4 (C4p). Diese Methode wurde bei der QT-Gruppe in allen Sitzungen, bei der LP-Gruppe am ersten und letzten Tag eines Trainingsblocks und am zweiten Sitzungstag von Post2 verwendet. Eine Ausnahme bildete der erste Trainingsblock, in dem diese Ableitungsvariante statt am ersten Tag am zweiten Tag durchgeführt wurde. Grund dafür war die Tatsache, dass die erste Sitzung des ersten Trainingsblocks nicht in die Auswertung einbezogen wurde. An den übrigen Sitzungstagen wurde bei der LP-Gruppe Variante 2 verwendet und die Potenziale lediglich mit einer Elektrode an Cz gegen die gemittelten Signale der Mastoiden bzw. der Ohrfläppchen abgeleitet. Auch hier wurde die Erdungselektrode an der Stirn befestigt.

2.4.8. Artefaktkontrolle

Da EEG-Signale sehr schwach sind, können sie sehr leicht von anderen Spannungsquellen überlagert werden. Dazu gehören Netzbrumm und Spannungsschwankungen an Elektrodenkabeln, aber auch Lid- und Augenbewegungen, die Atmung sowie jegliche Muskelanspannung. Diese möglichen Störgrößen müssen daher so gut wie möglich kontrolliert werden.

Online-Kontrolle:

Ein gewisser Teil der Artefakte konnte durch den Trainer über den Trainingsbildschirm kontrolliert werden. So wurden Lid- oder Augenbewegungen durch das EOG als Spannungsschwankungen auf dem Bildschirm sichtbar gemacht und die Anspannung bestimmter Muskeln konnte als Frequenzzunahme im EEG beobachtet werden. Die installierte Kamera bot eine zusätzliche Möglichkeit Bewegungen des Kindes zu registrieren und eventuell zu unterbinden.

Unabhängig vom Trainer wurde ein Trial als ungültig bewertet, wenn die EEG-Aktivität einen Wert von 200 Mikrovolt, oder die EOG-Aktivität einen Wert von 800 Mikrovolt überschritt. Diese Art der Artefaktkontrolle bezog sich allerdings in beiden Trainingsgruppen auf die LP, die an Cz abgeleitet wurden, da sich Bewegungsartefakte vor allem in langsamen Potenzialschwankungen zeigen.

In der LP-Gruppe war zusätzlich ein EOG-Korrekturfaktor im Feedbackintervall wirksam, der dann in Kraft trat, wenn EOG- und LP-Amplitude das gleiche Vorzeichen hatten, es also davon auszugehen war, dass die LP-Amplitude durch die EOG-Amplitude mit verursacht war. War die EOG-Amplitude größer als die LP-Amplitude setzte das Feedback kurz aus, war sie kleiner, wurde die LP-Amplitude um 15% in die elektrisch negative bzw. positive Richtung korrigiert.

Dieser Korrekturfaktor wurde nur in der LP-Gruppe verwendet, da bei der QT-Gruppe kein Einfluss der Augenbewegungen (Spannungsschwankungen zwischen 0 und 1,5 Hz) auf das gefilterte EEG-Signal anzunehmen ist.

Offline-Kontrolle:

Auch hier wurde das Trial für ungültig erklärt, sobald die EEG- bzw. EOG-Aktivität einen Wert von 200 bzw. 800 Mikrovolt überschritt. Der EOG-Korrekturfaktor wurde jedoch mit dem Unterschied verwendet, dass die Korrektur nur 12% betrug. Dieser Unterschied lässt sich damit begründen, dass das Feedback in keinem Fall durch Artefakte gesteuert werden darf, die Korrektur also strenger gewählt werden muss (Hinterberger, 1999). Für die

Datenauswertung ist dagegen ein möglichst nahe an der Realität liegendes EEG-Signal wichtig.

Überprüfung der Atmung als Artefakt:

Der Einfluss von Atmungsartefakten wurde durch die Verwendung eines auf der Bauchdecke angebrachten Bewegungssensors überprüft, der die Atembewegungen in ein auf dem Trainingsrechner sichtbares Spannungssignal umsetzt. Wie Weber (2003) bei der Untersuchung der LP-Subgruppe zeigen konnte, bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen den generierten LPs und der Atmung.

2.4.9. Die Berechnung des Feedbacksignals

LP-Gruppe:

Die Elektrode an Cz wurde gegen die gemittelten Signale über beiden Mastoiden bzw. beiden Ohrläppchen (A1 und A2) gemessen (s. Abbildung 10), das Signal (Frequenzbereich <1Hz) mit der gemessenen Baseline verrechnet und die resultierenden LP-Verschiebungen in die Ballbewegung umgesetzt. Die Signale der an manchen Sitzungstagen zusätzlich verwendeten Elektroden wurden für spätere Auswertungszwecke verwendet.

$$LP - Feedbacksignal = \frac{(Cz - A1) + (Cz - A2)}{2}$$

Abbildung 10 Berechnung des LP-Feedbacksignals

QT-Gruppe:

Hier wurden das EEG an C3f und C4f abgeleitet, beide Werte gemittelt und gegen die Referenz gemessen (s. Abbildung 11). Um das Feedbacksignal zu berechnen, wurden die Frequenzen zwischen 3 und 7 Hz (Theta) und zwischen 12 und 20 Hz (Beta) verwendet und aus ihnen der Theta/Beta-Quotient gebildet. Ein im Vergleich zur Baseline kleinerer Quotient (Aktivierung) bewirkte eine Ballbewegung nach oben, ein größerer Quotient (Deaktivierung) eine Ballbewegung nach unten.

Auch hier wurden die Signale der übrigen Elektroden nur für spätere Auswertungszwecke genutzt.

$$\text{Theta / Beta – Feedbacksignal} = \frac{(C3f + C4f)}{2} - Cz$$

Abbildung 11 Berechnung des Theta/Beta-Feedbacksignals

2.5. Auswertung

2.5.1. Auswahl der EEG-Daten

Zur Auswertung wurden hier nur die an der Elektrodenposition Cz abgeleiteten Potenzialveränderungen verwendet, da man sich aufgrund der Vergleichbarkeit der Ergebnisse für beide Trainingsgruppen auf die gleiche Elektrodenposition festlegen wollte. Man entschied sich für Cz, da davon ausgegangen wurde, dass das LP eine größere räumliche Ausbreitung aufweist als die Frequenzbänder. LP-Veränderungen der QT-Kinder müssten also eher an Cz nachweisbar sein als Veränderungen in den Frequenzbändern der LP-Kinder an C3f und C4f.

Außerdem wurden nur die EEG-Daten des letzten Trainingsblocks in die Auswertung einbezogen, da davon ausgegangen wurde, dass hier am ehesten Veränderungen im gruppenfremden EEG-Parameter nachzuweisen wären.

2.5.2. Auswertung der EEG-Daten

Die EEG-Daten wurden zunächst mit dem TTD analysiert, wobei für jedes Trial ein Mittelwert für das LP, die Theta-Aktivität und die Beta-Aktivität berechnet wurde. Für die Auswertung der LP wurden die Potenzialverschiebungen während der Baselinephase gleich Null gesetzt und nur ein Mittelwert für die Aufgabenphase bestimmt. Für die Auswertung der Frequenzbänder wurde ein Mittelwert für die Baselinephase bestimmt und dieser vom Mittelwert der Aufgabenphase abgezogen. Der Theta/Beta-Quotient wurde für jedes Trial bestimmt, indem die Theta-Aktivität durch die Beta-Aktivität dividiert wurde.

Die EEG-Daten der einzelnen Trials wurden nun getrennt nach Aufgaben (Aktivierung bzw. Deaktivierung) weiter ausgewertet, indem für jeden Probanden folgende Werte erhoben wurden: je ein normierter Mittelwert für das LP, die Theta-Aktivität, die Beta-Aktivität und den Theta/Beta-Quotienten in den Aktivierungsaufgaben des dritten Trainingsblocks und je ein normierter Mittelwert für dieselben EEG-Parameter in den Deaktivierungsaufgaben des dritten Trainingsblocks. Normiert wurde der Mittelwert durch den Standardfehler, um die Varianz der Mittelwerte der einzelnen Trials und die Anzahl der Trials zu berücksichtigen. Die Werte für die EEG-Parameter der einzelnen Probanden sind im Anhang in den Tabellen 32 bis 35 aufgeführt.

Abgesehen vom Vorgehen bei der Regressionsanalyse (s. Kapitel 3.4) wurden die Probanden bestimmten Gruppen zugeordnet (das Kriterium für die Gruppenzuteilung wird in Kapitel 2.5.3 beschrieben) und über die normierten Mittelwerte der zur Gruppe gehörenden Probanden Einstichproben-t-Tests durchgeführt. Mittelwert und Standardfehler des so berechneten EEG-Parameters der jeweiligen Gruppe wurden graphisch dargestellt. Um Gruppen untereinander zu vergleichen, wurde der t-Test für unabhängige Stichproben oder, wenn nach dem Levene-Test die Varianzen in beiden Gruppen signifikant unterschiedlich waren, der Welch-t-Test durchgeführt. Vergleiche zwischen Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben innerhalb einer Gruppe wurden mit dem t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt.

Vor Durchführung des jeweiligen Tests wurden die Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Obwohl danach alle Daten normalverteilt waren, fielen im Histogramm teilweise stark vom Mittelwert abweichende Werte auf, weshalb nach einem Kriterium gesucht wurde, das bestimmte Werte als Extremwerte definierte. Man einigte sich schließlich darauf, jeden Wert, der mehr als 2,5 Standardabweichungen über oder unter dem jeweiligen Mittelwert lag, als Extremwert zu bezeichnen. Der jeweilige Test wurde dann einmal mit und einmal ohne den Extremwert durchgeführt und beide Ergebnisse angegeben. Graphisch dargestellt wurde allerdings nur das

Ergebnis mit dem Extremwert. Trotz der vielen Tests wurde auf Adjustierung verzichtet. Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 8 durchgeführt.

2.5.3. Festlegung des Kriteriums für die Gruppeneinteilung der Probanden

Zunächst musste ein Kriterium gefunden werden, das es erlaubte zwischen Probanden, die die Kontrolle des zurückgemeldeten EEG-Parameters erlernt hatten und Probanden, die diese Kontrolle nicht erlernt hatten, zu unterscheiden. Hierfür wurde ein Einstichproben-t-Test über die mit dem TTD berechneten Mittelwerte der Trials des dritten Blocks eines jeden Probanden getrennt nach Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben durchgeführt und auf einen signifikanten Unterschied gegenüber Null geprüft. Der p-Wert dieses Tests entschied zusammen mit dem Vorzeichen des t-Werts über Erfolg oder nicht Erfolg. Während der Aktivierungsaufgaben musste der t-Wert kleiner als Null sein, also ein negatives Vorzeichen besitzen, und während der Deaktivierungsaufgaben größer als Null sein, bzw. ein positives Vorzeichen besitzen. Um in die Gruppe der erfolgreichen Probanden aufgenommen zu werden, musste der p-Wert außerdem kleiner als 0,05 sein.

Genau genommen ist dieses Vorgehen statistisch nicht ganz korrekt, da dieser Test, wie schon der Name sagt, für Werte einer Stichprobe von Probanden konzipiert wurde und nicht für Werte eines einzelnen Probanden. Allerdings gibt es keine statistischen Tests, auf die ausgewichen werden könnte. Die einzige Alternative wäre die willkürliche Festlegung eines Kriteriums, wie zum Beispiel das Überschreiten eines bestimmten Mittelwertes. Es wird davon ausgegangen, dass die Verwendung des Tests weniger willkürlich ist und damit als Erfolgskriterium besser geeignet ist.

3. Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, sollte in dieser Arbeit untersucht werden, ob das Feedbacktraining bzw. die Veränderung im zurückgemeldeten EEG-Parameter auch zu Veränderungen im jeweils nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter führte. Bei den Probanden, die am Feedbacktraining der LP teilgenommen hatten, wurde also der Theta/Beta-Quotient untersucht, bei den Probanden, die am Feedbacktraining des Theta/Beta-Quotienten teilgenommen hatten, das LP. In einem ersten Schritt wurden alle Probanden der jeweiligen Neurofeedbackgruppe gemeinsam untersucht. In einem zweiten Schritt wurden dann innerhalb jeder Neurofeedbackgruppe folgende Untergruppen gebildet: Eine Gruppe mit Probanden, die den zurückgemeldeten EEG-Parameter in den Aktivierungsaufgaben beeinflussen konnten, eine Gruppe mit Probanden, die dies nicht gelernt hatten, und eine Gruppe mit Probanden, die den zurückgemeldeten EEG-Parameter in den Deaktivierungsaufgaben beeinflussen konnten. Für die im jeweiligen Kapitel untersuchte Gruppe wurde für jede der beiden Aufgaben ein Mittelwert für den zurückgemeldeten und ein Mittelwert für den nicht zurückgemeldeten, hier vorrangig untersuchten EEG-Parameter aus den normierten Mittelwerten (Mittelwert/Standardfehler) der einzelnen Probanden berechnet. Diese wurden in einem Balkendiagramm und einer Tabelle dargestellt. Um anschaulich zu machen, wie groß bzw. klein der Mittelwert des nicht zurückgemeldeten EEG-Parameters war, wurde in denselben Balkendiagrammen und Tabellen der entsprechende Mittelwert der Untergruppe der jeweils anderen Trainingsgruppe dargestellt (z.B. bei der Untersuchung des Theta/Beta-Quotienten der gesamten LP-Gruppe der Mittelwert des Theta/Beta-Quotienten der gesamten QT-Gruppe). Anschließend wurde mit dem Einstichproben-t-Test geprüft, ob sich die Mittelwerte signifikant von Null bzw. der Baseline unterschieden. Die Abbildung und Tabellenzeile in welcher die Aktivität des nicht zurückgemeldeten EEG-Parameters der jeweils untersuchten Gruppe dargestellt wurde, ist grau unterlegt. Signifikante Mittelwerte und p-Werte sind fett gedruckt. Für manche Untergruppen wurden weitere Berechnungen angestellt. Das jeweilige Vorgehen ist in den

entsprechenden Kapiteln erläutert. Da man die Verbesserung der klinischen Symptomatik in beiden Trainingsgruppen von der Fähigkeit den Kortex zu aktivieren erwartete, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf den Untergruppen, die den zurückgemeldeten EEG-Parameter in den Aktivierungsaufgaben beeinflussen konnte.

3.1. Bildung der Untergruppen

Um Untergruppen innerhalb der beiden Trainingsgruppen bilden zu können, wurde ein Kriterium definiert, das darüber entschied, ob die Probanden es gelernt hatten, den ihnen zurückgemeldeten EEG-Parameter in die gewünschte Richtung zu verändern oder nicht (s. dazu Kapitel 2.5.3). Die Tabellen 4 und 5 enthalten die so erhobenen Daten.

Ergebnisse – Bildung der Untergruppen

Tabelle 4

Beurteilung des Trainingserfolgs der Probanden der LP-Gruppe und Bildung der Untergruppen

LP-Akt-Gruppe: Probanden, die ihr LP während der Aktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten

N-LP-Akt-Gruppe: Probanden, die ihr LP während der Aktivierungsaufgaben nicht erfolgreich beeinflussen konnten

LP-Deakt-Gruppe: Probanden, die ihr LP während der Deaktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen

Proband	Aktivierung		LP- Akt- Gruppe	N-LP- Akt- Gruppe	Deaktivierung		LP- Deakt- Gruppe
	t-Wert	p-Wert			t-Wert	p-Wert	
LP12	-21,01	0,00	+		-12,40	0,00	
LP14	-2,58	0,01	+		-5,49	0,00	
LP15	2,99	0,00		+	0,02	0,98	
LP18	-11,81	0,00	+		2,91	0,00	+
LP19	6,99	0,00		+	3,82	0,00	+
LP23	-2,38	0,02	+		-2,71	0,01	
LP26	-1,41	0,16		+	-10,39	0,00	
LP27	-22,87	0,00	+		-7,48	0,00	
LP29	-15,06	0,00	+		-10,41	0,00	
LP31	-3,25	0,00	+		-1,78	0,08	
LP32	-16,90	0,00	+		0,04	0,97	
LP33	-14,46	0,00	+		-6,97	0,00	
LP34	0,45	0,65		+	-1,01	0,32	
LP35	1,00	0,32		+	0,83	0,41	
LP36	-6,82	0,00	+		-6,90	0,00	
LP37	-18,14	0,00	+		3,94	0,00	+
LP38	-8,51	0,00	+		-5,31	0,00	
LP39	-1,96	0,05		+	-0,54	0,59	

Ergebnisse – Bildung der Untergruppen

Tabelle 5

Beurteilung des Trainingserfolgs der Probanden der QT-Gruppe und Bildung der Untergruppen

QT-Akt-Gruppe: Probanden, die ihren Quotienten während der Aktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten

N-QT-Akt-Gruppe: Probanden, die ihren Quotienten während der Aktivierungsaufgaben nicht erfolgreich beeinflussen konnten

QT-Deakt-Gruppe: Probanden, die ihren Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben erfolgreich beeinflussen konnten

Proband	Aktivierung		QT-Akt-Gruppe	N-QT-Akt-Gruppe	Deaktivierung		QT-Deakt-Gruppe
	t-Wert	p-Wert			t-Wert	p-Wert	
QT03	-6,09	0,00	+		-1,76	0,08	
QT05	-2,79	0,01	+		0,47	0,64	
QT06	-14,92	0,00	+		23,35	0,00	+
QT08	0,50	0,62		+	5,30	0,00	+
QT16	-7,40	0,00	+		-3,34	0,00	
QT21	1,52	0,13		+	-1,09	0,28	
QT23	-16,83	0,00	+		8,67	0,00	+
QT25	-14,22	0,00	+		6,51	0,00	+
QT41	-12,45	0,00	+		2,39	0,02	+
QT45	-12,83	0,00	+		-0,35	0,72	
QT47	-6,68	0,00	+		-4,63	0,00	
QT49	1,06	0,29		+	1,67	0,10	
QT58	-11,18	0,00	+		1,63	0,10	
QT59	-2,52	0,01	+		0,61	0,54	
QT60	-3,41	0,00	+		-3,47	0,00	
QT61	-3,74	0,00	+		4,59	0,00	+
QT67	3,22	0,00		+	-0,48	0,63	
QT69	-1,38	0,17		+	-0,34	0,73	

3.2. Die LP-Kinder

3.2.1. Der Theta/Beta-Quotient in der gesamten LP-Gruppe

Wie bereits oben erläutert, wurde zum Vergleich zusätzlich zum LP und zum Theta/Beta-Quotienten der gesamten LP-Gruppe auch der Theta/Beta-Quotient der gesamten QT-Gruppe berechnet und dargestellt. Das Balkendiagramm und die Tabellenzeile, welche die Werte des Theta/Beta-Quotienten der LP-Gruppe enthalten, sind grau hinterlegt.

Der Theta/Beta-Quotient während der Aktivierungsaufgaben

Abbildung 12

Mittelwert und Standardfehler des langsames Potentials in μV und des Theta/Beta-Quotienten der LP-Gruppe und des Theta/Beta-Quotienten der QT-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

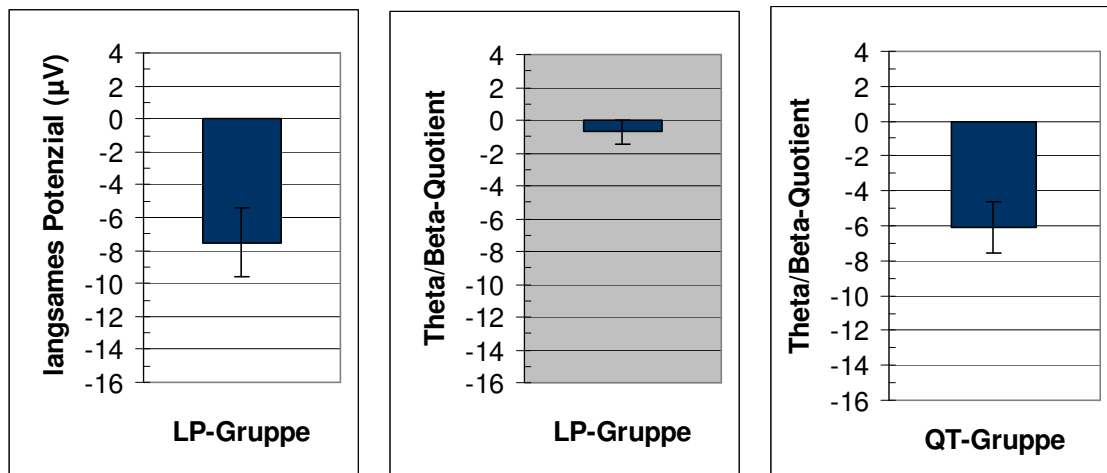


Tabelle 6

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der LP-Gruppe und Theta/Beta-Quotient der QT-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

LP-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	18	-7,54	2,09	-3,61	0,002
QT	18	-0,73	0,75	-0,98	0,34

QT-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	18	-6,12	1,48	-4,13	0,001

Wie aus Abbildung 12 ersichtlich, konnten sowohl die LP-Gruppe als auch die QT-Gruppe den Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben in die gewünschte Richtung beeinflussen. In der LP-Gruppe war die Veränderung des Theta/Beta-Quotienten im Gegensatz zu ihrer LP-Veränderung nicht signifikant (s. Tabelle 6).

Der Theta/Beta-Quotient während der Deaktivierungsaufgaben

Abbildung 13

Mittelwert und Standardfehler des langsamen Potentials in μV und des Theta/Beta-Quotienten der LP-Gruppe und des Theta/Beta-Quotienten der QT-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

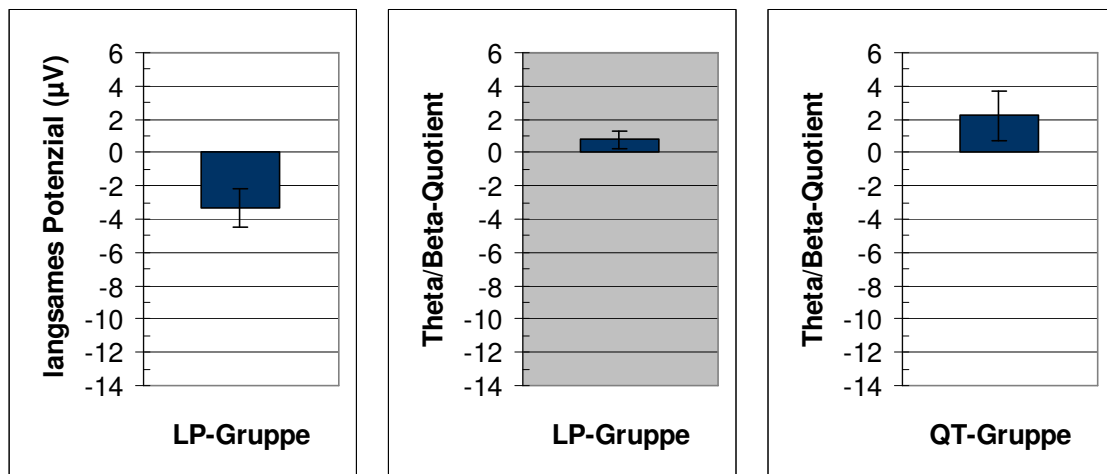


Tabelle 7

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der LP-Gruppe und Theta/Beta-Quotient der QT-Gruppe während der

Deaktivierungsaufgaben

LP26: Proband der LP-Gruppe, der für den Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

QT06: Proband der QT-Gruppe, der für den Theta/Beta-Quotienten

während der Deaktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

LP-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	18	-3,32	1,19	-2,79	0,01
QT	18	0,76	0,53	1,44	0,17
QT ohne LP26	17	0,39	0,40	0,97	0,35
QT-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	18	2,21	1,50	1,48	0,16
QT ohne QT06	17	0,96	0,88	1,09	0,29

Der LP-Gruppe gelang es nicht ein positives LP zu generieren (s. Abbildung 13 und Tabelle 7). Der signifikante Wert ergibt sich aus einer LP-Veränderung in die elektrisch negative Richtung. Der Theta/Beta-Quotient hingegen wurde, wenn auch nicht signifikant, während der Deaktivierungsaufgaben größer als Null. Die QT-Gruppe erreichte im Vergleich zur LP-Gruppe zwar größere Mittelwerte, aber auch diese waren nicht signifikant von Null verschieden.

Für den Theta/Beta-Quotienten der LP- und QT-Gruppe wurden in Tabelle 7 zwei Werte angegeben. Der jeweils erste Wert steht für die gesamte Gruppe, während für die Berechnung des zweiten Werts ein Proband ausgeschlossen wurde. Sein t-Wert für den Theta/Beta-Quotienten zählt nach der Definition zu den Extremwerten (s. Kapitel 2.5.2). Das Ergebnis bleibt aber qualitativ dasselbe, da sich der Mittelwert des Theta/Beta-Quotienten beide Male nicht signifikant von Null unterscheidet.

3.2.2. Theta- und Beta-Aktivität der LP-Akt-Gruppe

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untergruppe vorgestellt, deren Probanden es gelernt haben, während der Aktivierungsaufgaben signifikant negative Potenziale zu generieren. Wie bereits erwähnt, ist die Untersuchung dieser Gruppe besonders wichtig, da das vorrangige Lernziel der LP-Feedbacktherapie im willkürlichen Erzeugen negativer Potenziale lag. Analog zum Vorgehen bei der gesamten LP-Gruppe, wurde zunächst der Theta/Beta-Quotient in den Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben untersucht und auch hier zum Vergleich zusätzlich zum LP und zum Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt-Gruppe, der Theta/Beta-Quotient der QT-Akt-Gruppe berechnet und dargestellt. Auch hier sind das Balkendiagramm und die Tabellenzeile, welche die Werte des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt-Gruppe enthalten grau hinterlegt.

Der Theta/Beta-Quotient während der Aktivierungsaufgaben

Abbildung 14

Mittelwert und Standardfehler des langsamen Potentials in μV und des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt-Gruppe und des Theta/Beta-Quotienten der QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

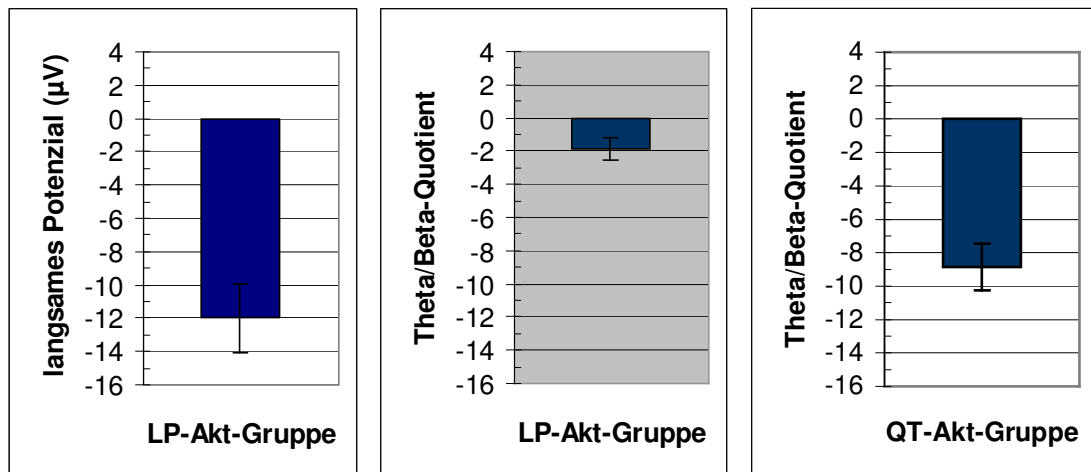


Tabelle 8

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der LP-Akt-Gruppe und Theta/Beta-Quotient der QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

LP-Akt-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	12	-11,98	2,08	-5,75	0,00
QT	12	-1,84	0,69	-2,65	0,02
QT-Akt-Gruppe					
	Probanden (N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	13	-8,85	1,41	-6,27	0,00

Wie in Abbildung 14 und Tabelle 8 zu sehen, beeinflussten sowohl die QT-Akt- als auch die LP-Akt-Gruppe den Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben signifikant in die gewünschte Richtung. Sowohl der Mittelwert des LP als auch der Mittelwert des Theta/Beta-Quotienten waren in der LP-Akt-Gruppe negativer als die entsprechenden Mittelwerte der gesamten LP-Gruppe.

Wie erwartet, war der Theta/Beta-Quotient der QT-Akt-Gruppe jedoch deutlich kleiner als der Quotient der LP-Akt-Gruppe. Dieser Unterschied erwies sich im t-Test für unabhängige Stichproben als signifikant (s. Abbildung 15 und Tabelle 9).

Abbildung 15

Vergleich des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

Die Punkte bezeichnen die normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden, die horizontale Linie in der Mitte der Rauten bezeichnet den Mittelwert und die obere und untere Spitze stellen die obere und untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls der jeweiligen Gruppe dar.

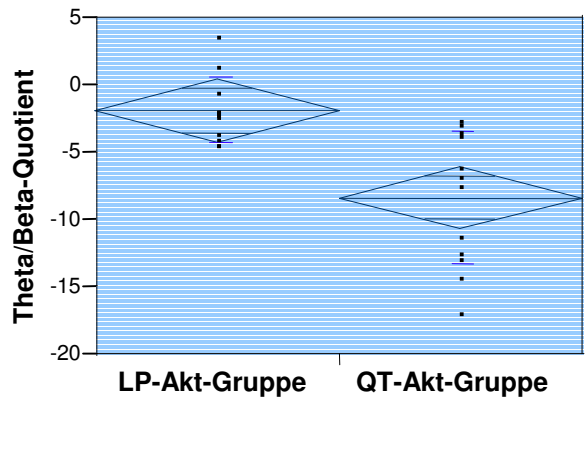


Tabelle 9

Vergleich des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Levene-Test der Varianzgleichheit		Welch-t-Test für unabhängige Stichproben					
F	p-Wert	df	Probanden (N)	Mittl. Diff.	SE der Diff.	t-Wert	p-Wert
15,25	0,00	17,4	25	7,01	1,57	4,46	0,00

Da sich die Varianzen der beiden Gruppen nach dem Levene-Test signifikant voneinander unterscheiden, wurde der Welch-t-Test durchgeführt.

Der Theta/Beta-Quotient während der Deaktivierungsaufgaben

Abbildung 16

Mittelwert und Standardfehler des langsamen Potentials in μV und des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt-Gruppe und des Theta/Beta-Quotienten der QT-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

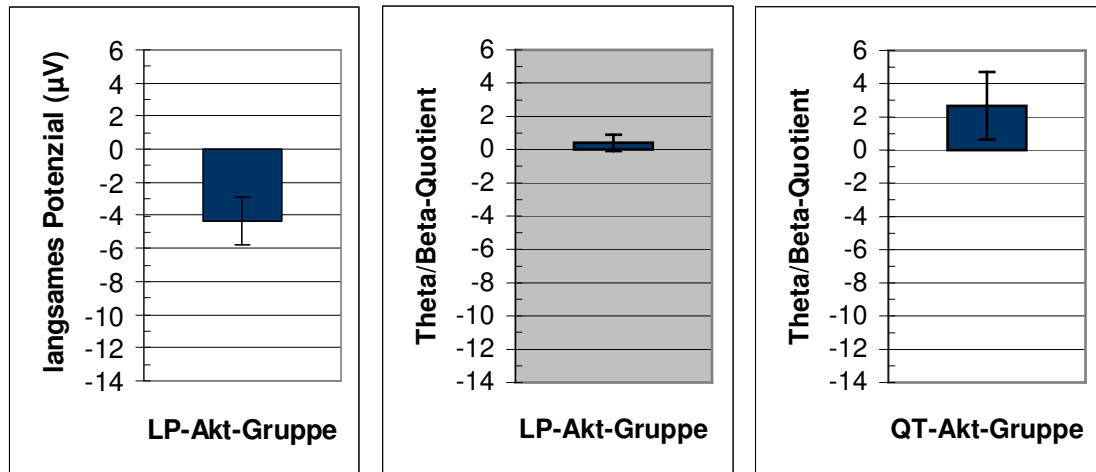


Tabelle 10

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der LP-Akt-Gruppe und Theta/Beta-Quotient der QT-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

QT06: Proband der QT-Akt-Gruppe, der für den Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

LP-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	12	-4,38	1,45	-3,02	0,01
QT	12	0,42	0,50	0,85	0,41
QT-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	13	2,67	2,04	1,31	0,22
QT ohne QT06	12	0,94	1,18	0,80	0,44

Wie aus Abbildung 16 und Tabelle 10 ersichtlich, gelang es auch der LP-Akt-Gruppe nicht, das erwünschte positive Potenzial zu generieren. Auch die Mittelwerte des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und der QT-Akt-Gruppe zeigen zwar eine Vergrößerung gegenüber Null, sind allerdings nicht signifikant. Für den Theta/Beta-Quotienten der QT-Akt-Gruppe wurden auch hier zwei Mittelwerte angegeben. Der erste Wert steht für die gesamte QT-Akt-Gruppe,

während für die Berechnung des zweiten Wertes QT06 ausgeschlossen wurde. Das Ergebnis blieb zwar auch hier qualitativ dasselbe, beide Male war der Mittelwert nicht signifikant von Null verschieden, es fiel aber auf, dass die Werte der LP-Akt-Gruppe und der QT-Akt-Gruppe ohne diesen Extremwert nah beieinander lagen.

Auch hier wurde der t-Test für unabhängige Stichproben für den Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und der QT-Akt-Gruppe durchgeführt (s. Abbildung 17 und Tabelle 11).

Abbildung 17

Vergleich des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

Die Punkte bezeichnen die normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden, die horizontale Linie in der Mitte der Rauten bezeichnet den Mittelwert und die obere und untere Spitze stellen die obere und untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls der jeweiligen Gruppe dar.

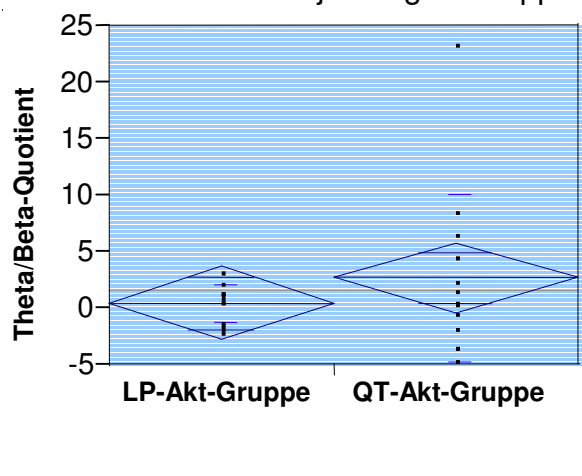


Tabelle 11

Vergleich des Theta/Beta-Quotienten der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für unabhängige Stichproben					
F	p-Wert	df	Probanden (N)	Mittl. Diff.	SE der Diff.	t-Wert	p-Wert
5,60	0,03	13,4	25	-2,24	2,10	-1,07	0,30

Unter der Annahme verschiedener Varianzen musste auch hier der Welch-t-Test durchgeführt werden. Die LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe (einschließlich QT06) unterscheiden sich nicht signifikant. Mit dem Extremwert QT06 wurde der t-Test nicht durchgeführt, da die Gruppenunterschiede noch geringer sind und somit ein qualitativ gleiches Ergebnis zu erwarten ist.

Differenzierungsleistung der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe zwischen Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgabe anhand des Theta/Beta-Quotienten

Aus den vorangegangenen Untersuchungen lässt sich die Annahme ableiten, dass sowohl die QT-Akt- als auch die LP-Akt-Gruppe den Theta/Beta-Quotienten entsprechend der Aufgaben steuern konnten. Im Folgenden wurde für beide Gruppen die Differenzierungsleistung zwischen den beiden Aufgaben mit Hilfe des t-Tests für paarweise Stichproben untersucht. Die Abbildung 18 für die LP-Akt-Gruppe und ihre Werte in Tabelle 12 sind grau hinterlegt.

Abbildung 18

Differenzierung der **LP-Akt-Gruppe** anhand des Theta/Beta-Quotienten zwischen den beiden Aufgaben

Der Unterschied des Theta/Beta-Quotienten zwischen den Mittelwerten der beiden Aufgaben ist für jeden Probanden durch eine Gerade dargestellt.

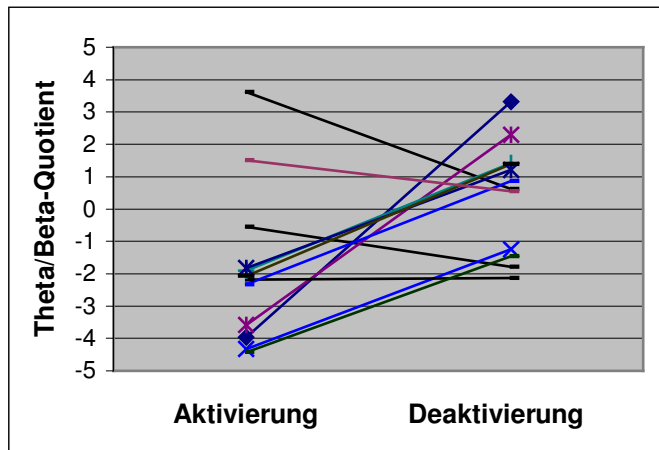


Abbildung 19

Differenzierung der **QT-Akt-Gruppe** anhand des Theta/Beta-Quotienten zwischen den beiden Aufgaben

Der Unterschied des Theta/Beta-Quotienten zwischen den Mittelwerten der beiden Aufgaben ist für jeden Probanden durch eine Gerade dargestellt

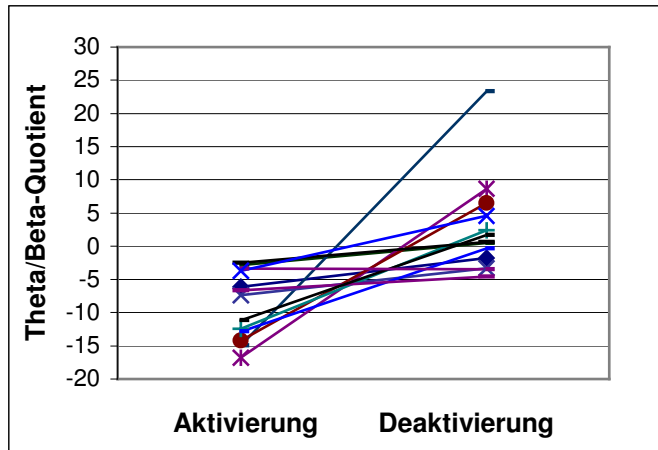


Tabelle 12

Differenzierung der **LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe** anhand des Theta/Beta-Quotienten zwischen den beiden Aufgaben

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

LP-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	df	t-Wert	p-Wert
12	-2,26	0,86	11	-2,61	0,02
QT-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	df	t-Wert	p-Wert
13	-11,52	3,09	12	-3,73	0,00

Wie in den Abbildungen 18 und 19 und in Tabelle 12 zu sehen, konnte sowohl die QT-Akt-Gruppe als auch die LP-Akt-Gruppe anhand des Theta/Beta-Quotienten zwischen den Aufgaben differenzieren. Es ist zu beachten, dass Abbildung 18 und 19 einen anderen Maßstab besitzen, die Differenzierungsfähigkeit ist in der LP-Akt-Gruppe kleiner als in der QT-Akt-Gruppe. Die QT-Akt-Gruppe wurde auch hier nur mit dem Extremwert untersucht, da nicht anzunehmen ist, dass sich das Ergebnis ohne Extremwert qualitativ unterscheidet (siehe auch Tabelle 8 und 10).

Getrennte Betrachtung der Theta- und Beta-Aktivität

Aus den vorangegangenen Beobachtungen wissen wir, dass während der Aktivierungsaufgaben beide Gruppen ihren Theta/Beta-Quotienten signifikant verkleinern konnten. Um zu untersuchen, welche Anteile die Theta- bzw. die Beta-Aktivität daran haben, wurde der Quotient in seine Komponenten zerlegt und diese einzeln untersucht. Die Abbildungen und Tabellenzeilen, welche sich auf die LP-Akt-Gruppe beziehen, sind grau hinterlegt.

Abbildung 20

Mittelwert und Standardfehler der Theta- und Beta-Aktivität der **LP-Akt-Gruppe** während der **Aktivierungsaufgaben**

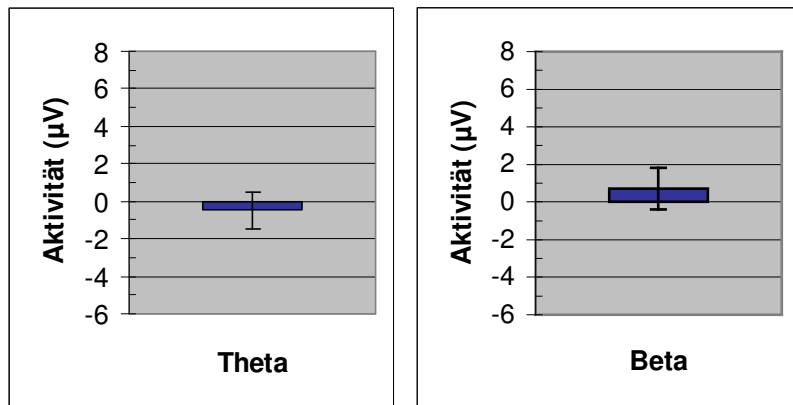


Abbildung 21

Mittelwert und Standardfehler der Theta- und Beta-Aktivität der **QT-Akt-Gruppe** während der **Aktivierungsaufgaben**

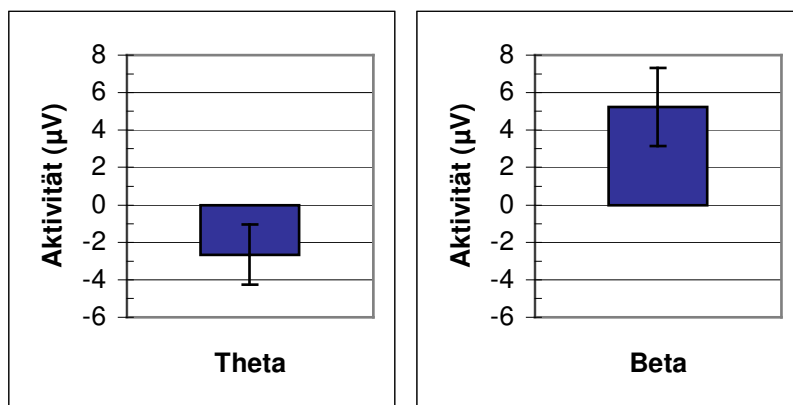


Tabelle 13

Theta- und Beta-Aktivität der **LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe** während der **Aktivierungsaufgaben**

LP12: Proband der LP-Akt-Gruppe, der für die Beta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

LP-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Theta-Aktivität	12	-0,48	0,98	-0,49	0,63
Beta-Aktivität	12	0,72	1,11	0,65	0,72
Beta-Aktivität ohne LP12	11	-0,29	0,49	-0,59	0,57
QT-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Theta-Aktivität	13	-2,66	1,61	-1,65	0,12
Beta-Aktivität	13	5,23	2,09	2,50	0,03

In den Abbildungen 20 und 21 und in Tabelle 13 fällt auf, dass sowohl die QT-Akt-Gruppe als auch die LP-Akt-Gruppe in der Lage sind die Theta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben zu verringern und die Beta-Aktivität zu erhöhen (Für die LP-Akt-Gruppe gilt dies nur, wenn der Extremwert nicht ausgeschlossen wird). Allerdings erreichte die QT-Akt-Gruppe für beide Frequenzbänder höhere Beträge. Bis auf die Beta-Aktivität der QT-Akt-Gruppe, wurde aber in beiden Gruppen keine signifikante Veränderung gegenüber der Baseline erreicht.

Auch wenn weder die LP-Akt- noch die QT-Akt-Gruppe ihren Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben signifikant gegenüber Null vergrößern konnten, wurden auch hier die Theta- und Beta-Aktivität einzeln untersucht (s. Abbildung 22 und 23 und Tabelle 14).

Abbildung 22

Mittelwert und Standardfehler der Theta- und Beta-Aktivität der **LP-Akt-Gruppe** während der **Deaktivierungsaufgaben**

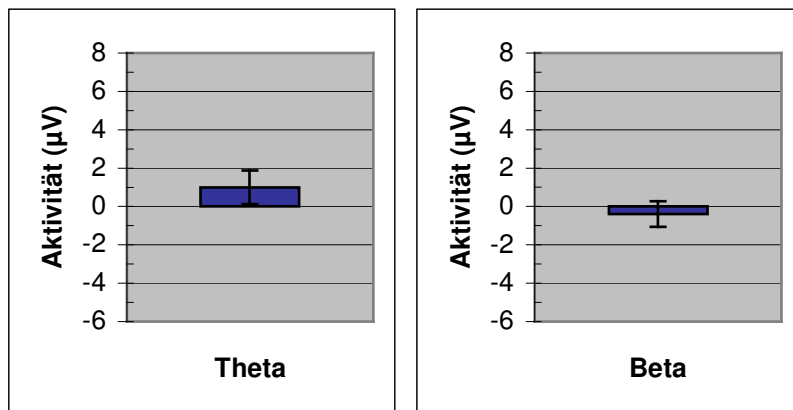


Abbildung 23

Mittelwert und Standardfehler der Theta- und Beta-Aktivität der **QT-Akt-Gruppe** während der **Deaktivierungsaufgaben**

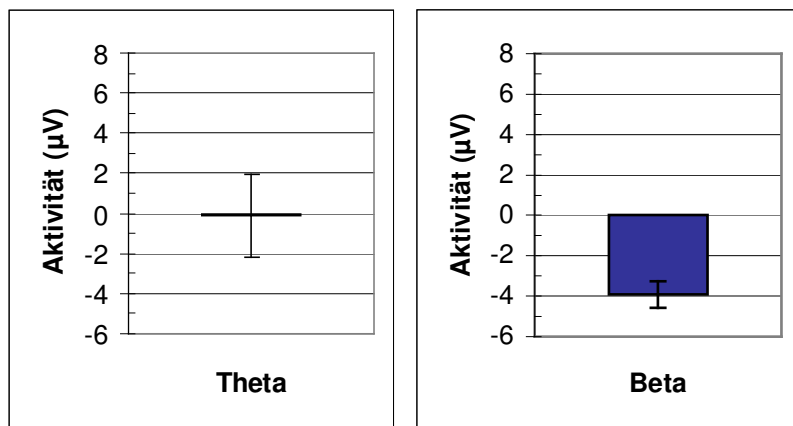


Tabelle 14

Theta- und Beta-Aktivität der **LP-Akt-** und **QT-Akt-Gruppe** während der **Deaktivierungsaufgaben**

LP-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Theta-Aktivität	12	1,00	0,87	1,16	0,27
Beta-Aktivität	12	-0,38	0,67	-0,57	0,58
QT-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Theta-Aktivität	13	-0,13	2,06	-0,06	0,95
Beta-Aktivität	13	-3,92	0,67	-5,86	0,00

Wie während der Aktivierungsaufgaben erreichte auch hier nur die QT-Akt-Gruppe für die Beta-Aktivität einen signifikanten Wert. Die LP-Akt-Gruppe konnte zwar auch hier die Aktivität der Frequenzbänder wie erwünscht gegenüber der Baseline verändern, die Werte wurden aber auch hier nicht signifikant. Interessanterweise gelang es der LP-Akt-Gruppe ihre Theta-Aktivität während der Deaktivierungsaufgaben zu steigern, während die QT-Akt-Gruppe ihre Theta-Aktivität verringerte.

Zuletzt sollte noch, wie zuvor für den Theta/Beta-Quotienten, untersucht werden, ob die LP-Akt-Gruppe anhand der Theta- und Beta-Aktivität zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden konnte. Um dies zu überprüfen, wurde auch hier ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt.

Tabelle 15

Differenzierung der **LP-Akt-Gruppe** anhand der **Theta- und Beta-Aktivität** zwischen den beiden Aufgaben

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Theta-Aktivität der LP-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	df	t-Wert	p-Wert
12	-1,49	0,50	11	-2,95	0,01
Beta-Aktivität der LP-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	Standardfehler	df	t-Wert	p-Wert
12	1,11	0,87	11	1,27	0,23

Wie aus Tabelle 15 ersichtlich, konnte die LP-Akt-Gruppe anhand der Theta-Aktivität signifikant zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden. Die LP-Akt-Gruppe wurde in Bezug auf die Beta-Aktivität nur mit dem Extremwert untersucht, da nicht anzunehmen ist, dass sich das Ergebnis ohne Extremwert qualitativ unterscheidet. Ohne Extremwert ist eine schlechtere Differenzierungsfähigkeit der Gruppe anhand der Beta-Aktivität anzunehmen (siehe auch Tabelle 13 und 14).

3.2.3. Der Theta/Beta-Quotient der N-LP-Akt-Gruppe

Der Theta/Beta-Quotient während der Aktivierungsaufgaben

Die Probanden der LP-Gruppe, denen es während der Aktivierungsaufgaben nicht gelang, eine signifikante Verschiebung des LP in die elektrisch negative Richtung zu erzeugen (N-LP-Akt-Gruppe), wurden getrennt untersucht. Die Tabellenzeile, die die Werte des Theta/Beta-Quotienten enthält, ist grau hinterlegt. Diese Gruppe konnte nach dem Einstichproben-t-Test im Gegensatz zur LP-Akt-Gruppe auch ihren Theta/Beta-Quotienten nicht signifikant verkleinern (s. Tabelle 16).

Tabelle 16

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der N-LP-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	6	1,34	1,34	1,00	0,36
QT	6	1,47	1,49	0,99	0,37

Um zu untersuchen, ob der Unterschied zwischen der N-LP-Akt- und der LP-Akt-Gruppe in Bezug auf den Theta/Beta-Quotienten signifikant war, wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt (s. Tabelle 17).

Tabelle 17

Vergleich des Theta/Beta-Quotienten der N-LP-Akt- und der LP-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für unabhängige Stichproben					
F	p-Wert	df	Probanden (N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	t-Wert	p-Wert
0,67	0,43	16	18	-3,31	1,42	-2,32	0,03

Danach unterscheiden sich die LP-Akt-Gruppe und die N-LP-Akt-Gruppe in ihren Gruppenmittelwerten für den Theta/Beta-Quotienten signifikant voneinander (s. Tabelle 17), was aufgrund gleicher Varianzen in beiden Gruppen mit dem t-Test geprüft werden konnte.

3.2.4. Der Theta/Beta-Quotient der LP-Deakt-Gruppe

Der Theta/Beta-Quotient während der Deaktivierungsaufgaben

Für die 3 Probanden, denen eine positive LP-Verschiebung während der Deaktivierungsaufgaben gelang (LP-Deakt-Gruppe), wurde der Theta/Beta-Quotient während der Deaktivierungsaufgaben untersucht. Die Tabellenzeile, welche diese Werte enthält, ist grau hinterlegt. Es ist anzumerken, dass diese Gruppe aus Probanden besteht, die bereits in den zuvor beschriebenen Gruppen enthalten sind: LP18 und LP37 in der LP-Akt-Gruppe und LP19 in der N-LP-Akt-Gruppe.

Tabelle 18

Langsames Potenzial (LP) in μV und Theta/Beta-Quotient (QT) der LP-Deakt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	3	3,56	0,32	10,97	0,01
QT	3	0,13	0,91	0,14	0,90

Der Theta/Beta-Quotient dieser Gruppe ist während der Deaktivierungsaufgaben kleiner als in der LP-Akt-Gruppe, obwohl diese Gruppe als einzige einen signifikant positiven Mittelwert für das langsame Potenzial in den Deaktivierungsaufgaben zeigt (s. Tabelle 18).

3.3. Die QT-Kinder

3.3.1. Das langsame Potenzial der gesamten QT-Gruppe

Wie zuvor bei der LP-Gruppe wurde auch hier zunächst auf die Gesamtgruppe eingegangen und auch hier zum Vergleich zusätzlich zum Theta/Beta-Quotienten und dem LP der QT-Gruppe das LP der gesamten LP-Gruppe berechnet und dargestellt. Die Balkendiagramme und Tabellenzeilen, welche die Werte für das LP der QT-Gruppe enthalten, sind auch hier grau hinterlegt.

Das langsame Potenzial während der Aktivierungsaufgaben

Abbildung 24

Mittelwert und Standardfehler des Theta/Beta-Quotienten und des langsamen Potentials (μV) der QT-Gruppe und des langsamen Potentials (μV) der LP-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

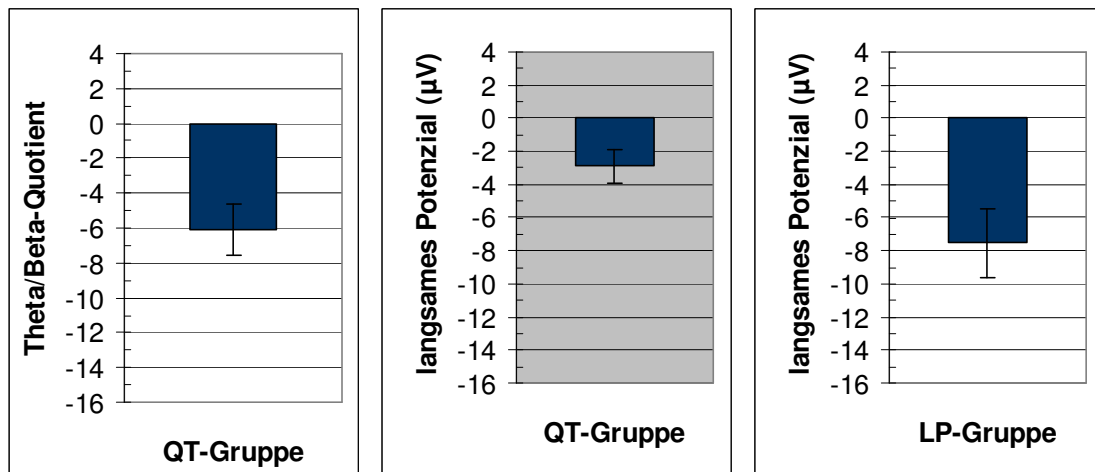


Tabelle 19

zu Abbildung 24

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der QT-Gruppe und langsames Potenzial (μV) der LP-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

QT-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	18	-6,12	1,48	-4,13	0,001
LP	18	-2,90	1,05	-2,75	0,01

LP-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	18	-7,54	2,09	-3,61	0,002

Wie aus Abbildung 24 und Tabelle 19 ersichtlich, gelang es der QT-Gruppe, ein signifikant negatives LP während der Aktivierungsaufgaben zu erzeugen. Das LP der LP-Gruppe erreichte allerdings einen negativeren Wert.

Das langsame Potenzial während der Deaktivierungsaufgaben

Abbildung 25

Mittelwert und Standardfehler des Theta/Beta-Quotienten und des langsamen Potentials (μV) der QT-Gruppe und des langsamen Potentials (μV) der LP-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

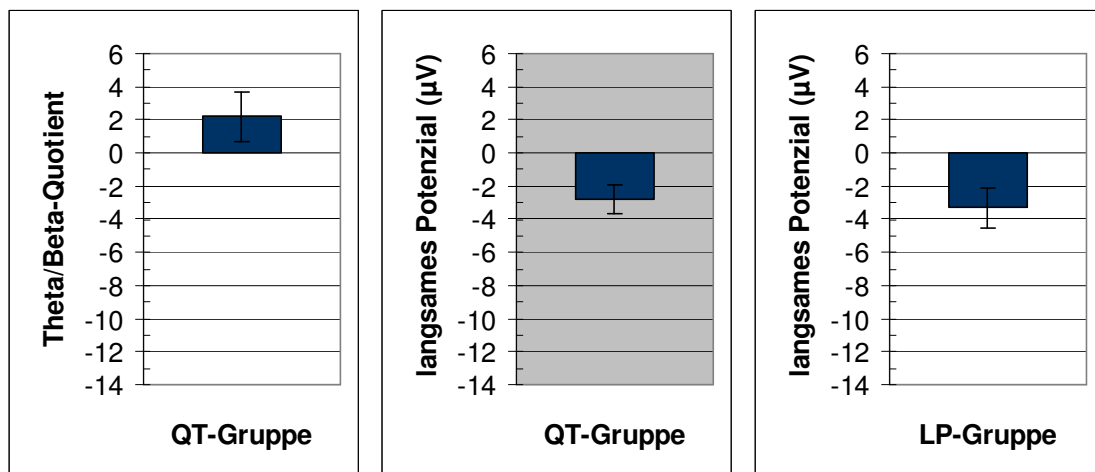


Tabelle 20

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der QT-Gruppe und langsames Potenzial (μV) der LP-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

QT06: Proband der QT-Gruppe, der für den Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

QT-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	18	2,21	1,50	1,48	0,16
QT ohne QT06	17	0,96	0,88	1,09	0,29
LP	18	-2,78	0,85	-3,28	0,004

LP-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	18	-3,32	1,19	-2,79	0,01

Auch während der Deaktivierungsaufgaben (s. Abbildung 25 und Tabelle 20) gelang es der QT-Gruppe das LP signifikant zu verändern, allerdings wie während der Aktivierungsaufgaben in den elektrisch negativen Bereich. Im Gegensatz dazu wurde der Theta/Beta-Quotient während der Deaktivierungsaufgaben größer gegenüber Null, erreichte aber keine Signifikanz.

3.3.2. Das langsame Potenzial der QT-Akt-Gruppe

Da auch in der QT-Gruppe das vorrangige Therapieziel im Erlernen der willkürlichen kortikalen Aktivierung lag, wurden auch hier die Probanden besonders sorgfältig untersucht, die ihren Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben signifikant gegenüber Null verringern konnten. Auch hier sind die Balkendiagramme und Tabellenzeilen, welche die Werte des LP der QT-Akt-Gruppe enthalten, grau hinterlegt.

Das langsame Potenzial während der Aktivierungsaufgaben

Abbildung 26

Mittelwert und Standardfehler des Theta/Beta-Quotienten und des langsamen Potenzials (μV) der QT-Akt-Gruppe und des langsamen Potenzials (μV) der LP-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

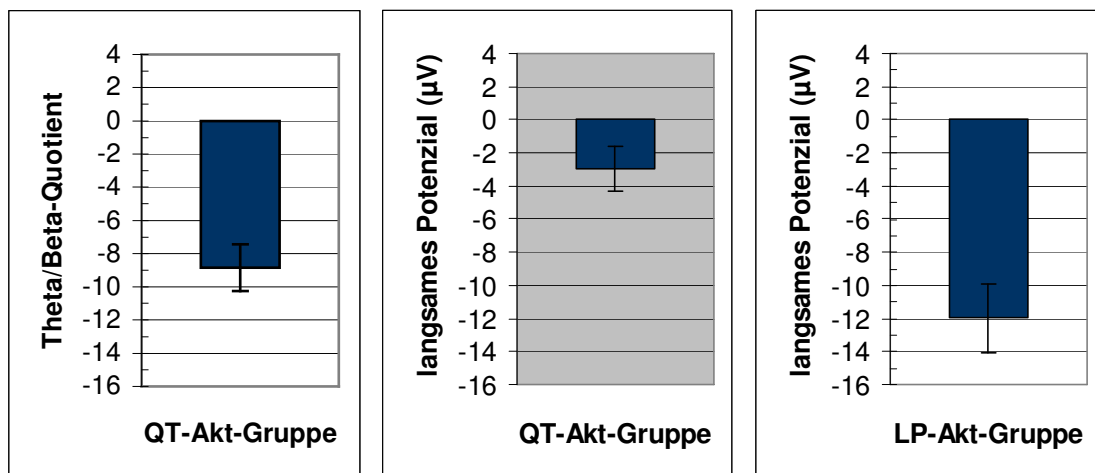


Tabelle 21

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der QT-Akt-Gruppe und langsames Potenzial (μV) der LP-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

QT-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	13	-8,85	1,41	-6,27	0,00
LP	13	-2,96	1,39	-2,13	0,05
LP-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	12	-11,98	2,08	-5,75	0,00

In der LP-Akt- und in der QT-Akt-Gruppe findet während der Aktivierungsaufgaben eine LP-Verschiebung in den elektrisch negativen Bereich statt (s. Abbildung 26 und Tabelle 21). Die LP-Verschiebung der QT-Akt-Gruppe ist jedoch, anders als in der zuvor untersuchten gesamten QT-Gruppe, nicht signifikant.

Trotzdem soll untersucht werden, ob sich die erzeugten LP-Veränderungen der LP-Akt- und der QT-Akt-Gruppe voneinander unterscheiden.

Abbildung 27

Vergleich des langsamen Potentials (μV) der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

Die Punkte bezeichnen die normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden, die horizontale Linie in der Mitte der Rauten bezeichnet den Mittelwert und die obere und untere Spitze stellen die obere und untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls der jeweiligen Gruppe dar.

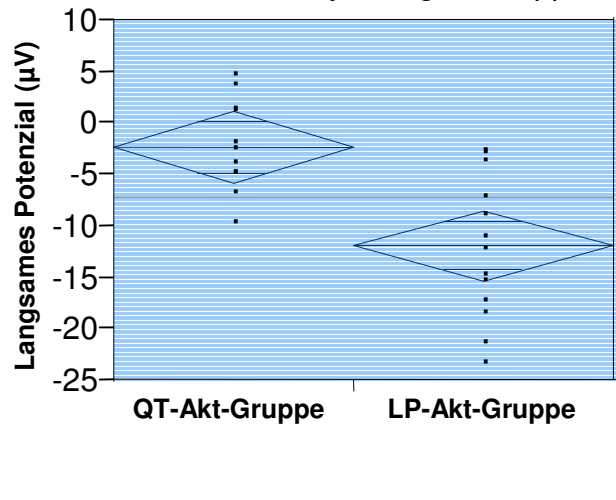


Tabelle 22

Vergleich des langsamen Potentials (μV) der LP-Akt- und QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**:

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für unabhängige Stichproben					
F	p-Wert	df	Probanden (N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	t-Wert	p-Wert
2,80	0,11	23	25	-9,03	2,47	-3,66	0,00

Da sich die Varianzen beider Gruppen nach dem Levene-Test nicht signifikant voneinander unterscheiden, wurde der t-Test für gleiche Varianzen durchgeführt. Danach unterscheiden sich die Mittelwerte der beiden Gruppen signifikant (siehe Abbildung 27 und Tabelle 22).

Das langsame Potenzial während der Deaktivierungsaufgaben

Abbildung 28

Mittelwert und Standardfehler des Theta/Beta-Quotienten und des langsamen Potentials (μV) der QT-Akt-Gruppe und des langsamen Potentials (μV) der LP-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

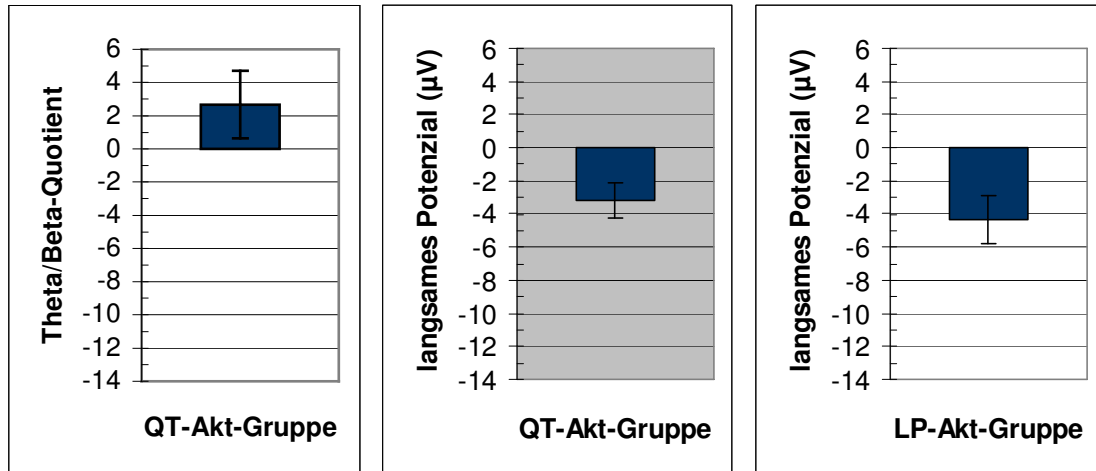


Tabelle 23

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der QT-Akt-Gruppe und langsames Potenzial (μV) der LP-Akt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

QT-Akt-Gruppe					
	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	13	2,67	2,04	1,31	0,22
LP	13	-3,16	3,83	-2,97	0,01
LP-Akt-Gruppe					
	Probanden	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
LP	12	-5,13	0,98	-5,26	0,00

Obwohl die QT-Akt-Gruppe ihren Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben wie erwünscht gegenüber der Baseline vergrößern konnte, findet eine signifikante LP-Verschiebung in den negativen Bereich statt. Da die QT-Akt- und die LP-Akt-Gruppe ihr langsames Potenzial somit in die elektrisch falsche Richtung verschoben haben, wurde es hier nicht für sinnvoll gehalten mit dem t-Test für unabhängige Stichproben auf signifikant unterschiedliche Gruppenmittelwerte zu testen. Es ist aber interessant zu

untersuchen, ob die QT-Akt-Gruppe trotzdem signifikant zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden konnte.

Differenzierungsleistung der QT-Akt- und LP-Akt-Gruppe zwischen Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgabe anhand des langsamen Potentials

In Kapitel 3.2.2 wurde mit dem t-Test für paarweise Stichproben untersucht, ob die LP-Akt-Gruppe und die QT-Akt-Gruppe mit dem Theta/Beta-Quotienten zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden konnten. Hier wurde überprüft, ob dasselbe auch für den anderen EEG-Parameter, das langsame Potenzial, zutrifft. Die Abbildung 29 für die QT-Akt-Gruppe und ihre Werte in Tabelle 24 sind grau hinterlegt.

Abbildung 29

Differenzierung der **QT-Akt-Gruppe** anhand des **langsamen Potentials** (μV) zwischen den beiden Aufgaben

Der Unterschied des langsamen Potentials zwischen den Mittelwerten der beiden Aufgaben ist für jeden Probanden durch eine Gerade dargestellt.

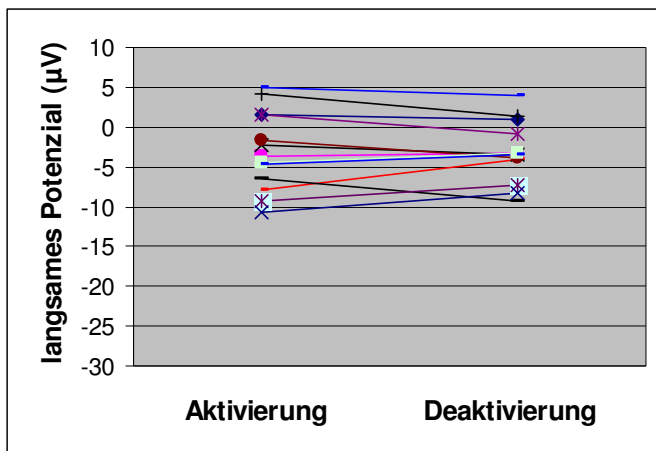


Abbildung 30

Differenzierung der **LP-Akt-Gruppe** anhand des **langsamen Potentials** (μV) zwischen den beiden Aufgaben

Der Unterschied des langsamen Potentials zwischen den Mittelwerten der beiden Aufgaben ist für jeden Probanden durch eine Gerade dargestellt

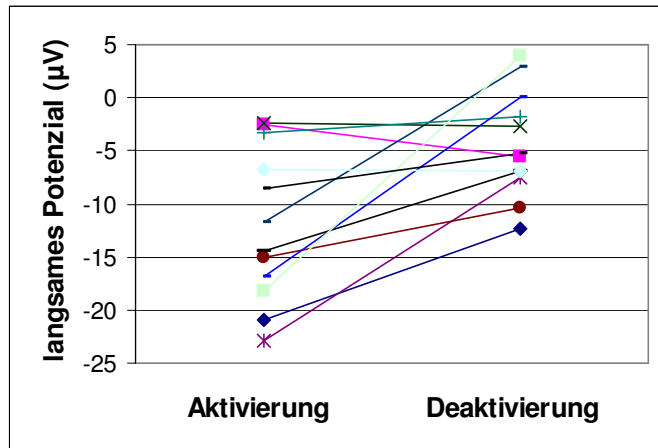


Tabelle 24

Differenzierung der **QT-Akt- und LP-Akt-Gruppe** anhand des **langsamen Potentials** (μV) zwischen den beiden Aufgaben

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

QT-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	df	t-Wert	p-Wert
13	0,20	0,60	12	0,33	0,75
LP-Akt-Gruppe					
Probanden(N)	mittl. Diff.	SE der Diff.	df	t-Wert	p-Wert
12	-7,60	2,31	11	-3,29	0,01

Im Gegensatz zur LP-Akt-Gruppe, die anhand des ihr fremden EEG-Parameter, dem Theta/Beta-Quotienten, zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden konnte (s. Abbildung 18 und Tabelle 12), gelang dies der QT-Akt-Gruppe anhand des langsamen Potentials nicht (s. Abbildung 29 und Tabelle 24).

Die LP-Akt-Gruppe unterscheidet anhand des LP signifikant zwischen den beiden Aufgaben (s. Abbildung 30 und Tabelle 24).

3.3.3. Das langsame Potenzial der N-QT-Akt-Gruppe

Die Kinder, die es nicht gelernt hatten ihren Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben zu verringern (N-QT-Akt-Gruppe), wurden getrennt untersucht, um zu überprüfen, ob mit dem Unvermögen den Theta/Beta-Quotienten signifikant zu verringern, auch geringer ausgeprägte LP-Verschiebungen in den negativen Bereich einhergingen. Die Tabellenzeile, welche die Werte für das LP enthält, ist grau hinterlegt.

Das langsame Potenzial während der Aktivierungsaufgaben

Tabelle 25

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der N-QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	5	0,98	0,75	1,32	0,26
LP	5	-2,75	1,41	-1,94	0,12

Nach dem Einstichproben-t-Test in Tabelle 25, gelang der N-QT-Akt-Gruppe während der Aktivierungsaufgaben keine signifikante LP-Verschiebung in den elektrisch negativen Bereich. Ob sich die LP-Verschiebung der N-QT-Akt-Gruppe signifikant von der LP-Verschiebung der QT-Akt-Gruppe unterschied, wurde mit dem t-Test für unabhängige Stichproben überprüft (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26

Vergleich des langsamen Potenzials (μV) der N-QT-Akt- und der QT-Akt-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

df = Freiheitsgrade

mittl. Diff. = mittlere Differenz

SE der Diff. = Standardfehler der Differenz

Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für unabhängige Stichproben					
F	p-Wert	df	Probanden (N)	Mittl. Diff.	SE der Diff.	t-Wert	p-Wert
1,90	0,19	16	18	-0,21	2,42	-0,09	0,93

Danach unterschied sich der Mittelwert des langsamen Potenzials der N-QT-Akt-Gruppe während der Aktivierungsaufgaben nicht signifikant vom Mittelwert des langsamen Potenzials der QT-Akt-Gruppe.

3.3.4. Das langsame Potenzial der QT-Deakt-Gruppe

Das langsame Potenzial während der Deaktivierungsaufgaben

Für die 6 Probanden, denen eine signifikante Vergrößerung des Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben gelang (QT-Deakt-Gruppe), wurde untersucht, ob mit einem positiven Quotienten in den Deaktivierungsaufgaben ein positives langsames Potenzial einherging. Wie bei der LP-Gruppe ist auch hier anzumerken, dass diese Gruppe aus Probanden bestand, die bereits in den zuvor beschriebenen Gruppen enthalten waren: QT06, QT23, QT25, QT41 und QT61 in der QT-Akt-Gruppe und QT08 in der N-QT-Akt-Gruppe. Auch hier ist die Tabellenzeile, welche die Werte für das LP enthält grau hinterlegt.

Tabelle 27

Theta/Beta-Quotient (QT) und langsames Potenzial (LP) (μV) der QT-Deakt-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

	Probanden(N)	Mittelwert	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
QT	6	8,47	3,09	2,74	0,04
LP	6	-3,43	1,36	-2,52	0,05

Wie zu erwarten, vergrößerte diese Gruppe im Gegensatz zur QT-Akt-Gruppe ihren Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben signifikant gegenüber Null. Es gelingt ihr aber, wie auch den zuvor untersuchten QT-Gruppen nicht, ein positives langsames Potenzial zu erzeugen (siehe Tabelle 27).

3.4. Regressionanalyse der Theta- und Beta-Aktivität und dem langsamen Potenzial

3.4.1. LP-Gruppe

Die Ergebnisse der Untersuchung des Theta/Beta-Quotienten der LP-Gruppe machten eine Überprüfung auf einen linearen Zusammenhang zwischen der Theta- und Beta-Aktivität mit dem langsamen Potenzial interessant. In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse für die Regressionsanalyse mit dem langsamen Potenzial als Einflussgröße und dem Theta/Beta-Quotienten, bzw. der Theta- oder Beta-Aktivität als Zielgröße angegeben. Wie in Kapitel 2.5.2 beschrieben, wurden dafür die durch den Standardfehler normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden der verschiedenen EEG-Parameter verwendet. Für die Bestimmung von Extremwerten wurde hier dasselbe Verfahren wie in den vorigen Kapiteln verwendet. Enthielten die zu untersuchenden EEG-Parameter Extremwerte, wurde die Regressionanalyse ein zweites Mal unter Ausschluss des Extremwerts durchgeführt. Tabelle 28 enthält die Ergebnisse der Regressionsanalyse während der Aktivierungsaufgaben und Tabelle 29 die Ergebnisse der Regressionsanalyse während der Deaktivierungsaufgaben.

Tabelle 28

Regressionsanalyse mit der Einflussgröße „langsameres Potenzial (LP)“ und den Zielgrößen „Theta/Beta-Quotient (QT)“, „Theta-Aktivität“ und „Beta-Aktivität“ der LP-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

LP12: Proband der LP-Gruppe, der für die Beta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

Einflussgröße	Zielgröße	df	R-Quadrat	t-Wert der Einflussgröße	p-Wert der Einflussgröße
LP	QT	1	0,15	1,67	0,12
LP	Theta-Aktivität	1	0,00	-0,16	0,87
LP	Beta-Aktivität	1	0,22	-2,14	0,048
LP	Beta-Aktivität ohne LP12	1	0,10	-1,27	0,23

Tabelle 29

Regressionsanalyse mit der Einflussgröße „langsames Potenzial (LP)“ und den Zielgrößen „Theta/Beta-Quotient (QT)“, „Theta-Aktivität“ und „Beta-Aktivität“ der LP-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

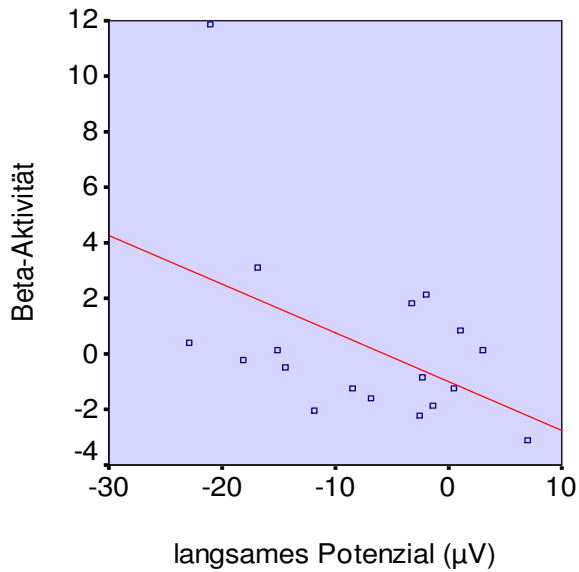
LP12: Proband der LP-Gruppe, der für die Beta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

Einflussgröße	Zielgröße	df	R-Quadrat	t-Wert der Einflussgröße	p-Wert der Einflussgröße
LP	QT	1	0,09	-1,24	0,23
LP	QT ohne LP26	1	0,01	-0,30	0,77
LP	Theta-Aktivität	1	0,05	-0,90	0,38
LP	Beta-Aktivität	1	0,02	-0,56	0,58
LP	Beta-Aktivität ohne LP12	1	0,02	-0,56	0,58

Der einzige signifikante Wert ergab sich für die Zielgröße Beta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben. Allerdings fällt auf, dass auch dieser Wert nicht mehr signifikant ist, wenn LP23, der Proband, der einen Extremwert für die Beta-Aktivität aufweist, aus der Gruppe ausgeschlossen wird. Ein Streudiagramm stellt die Zusammenhänge ohne Ausschluss von LP23 optisch dar (s. Abbildung 31).

Abbildung 31

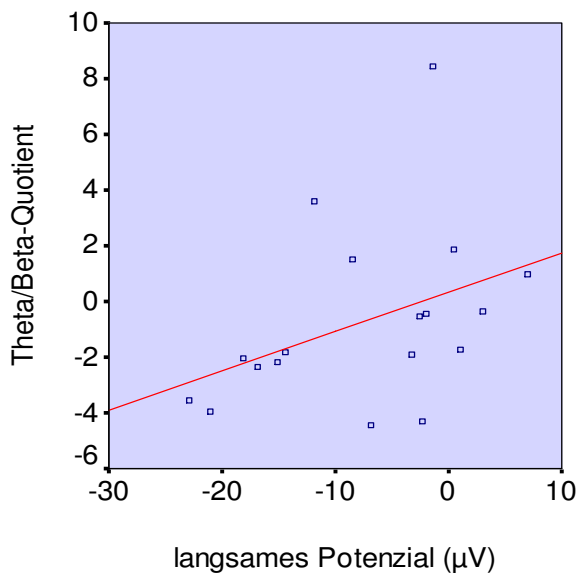
Die normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden sind als kleine Quadrate dargestellt



Auch für die Zielgröße Theta/Beta-Quotient ergab sich ein relativ hoher Wert für das R-Quadrat und ein relativ kleiner p-Wert. Obwohl keine Signifikanz erreicht wurde, wurden auch diese Werte in einem Streudiagramm dargestellt (s. Abbildung 32)

Abbildung 32

Die normierten Mittelwerte der einzelnen Probanden sind als kleine Quadrate dargestellt



3.4.2. QT-Gruppe

Auch wenn in dieser Gruppe aufgrund der vorausgegangenen Untersuchungen eher keine linearen Zusammenhänge zwischen den einzelnen EEG-Parametern zu erwarten sind, wurde eine Regressionsanalyse analog zur LP-Gruppe durchgeführt werden. Einflussgröße war hier der Theta/Beta-Quotient, die Theta-Aktivität oder die Beta-Aktivität. Zielgröße war das langsame Potenzial.

Tabelle 30

Regressionsanalyse mit den Einflussgrößen „Theta/Beta-Quotient (QT)“, „Theta-Aktivität“ und „Beta-Aktivität“ und der Zielgröße „langsameres Potenzial (LP)“ der QT-Gruppe während der **Aktivierungsaufgaben**

Einflussgröße	Zielgröße	df	R-Quadrat	t-Wert der Einflussgröße	p-Wert der Einflussgröße
QT	LP	1	0,04	-0,84	0,42
Theta-Aktivität	LP	1	0,0001	0,12	0,90
Beta-Aktivität	LP	1	0,02	0,59	0,57

Tabelle 31

Regressionsanalyse mit den Einflussgrößen „Theta/Beta-Quotient (QT)“, „Theta-Aktivität“ und „Beta-Aktivität“ und der Zielgröße „langsameres Potenzial (LP)“ der QT-Gruppe während der **Deaktivierungsaufgaben**

QT06: Proband der QT-Gruppe, der für den Theta/Beta-Quotienten und die Theta-Aktivität während der Deaktivierungsaufgaben einen Extremwert aufwies

Einflussgröße	Zielgröße	df	R-Quadrat	t-Wert der Einflussgröße	p-Wert der Einflussgröße
QT	LP	1	0,002	-0,20	0,85
QT ohne QT06	LP	1	0,002	0,15	0,88
Theta-Aktivität	LP	1	0,00002	-0,02	0,99
Theta-Aktivität ohne QT06	LP	1	0,01	0,46	0,65
Beta-Aktivität	LP	1	0,004	0,25	0,81

Wie vermutet, erreichte bei der QT-Gruppe keiner der Werte das Signifikanzniveau von 0,05 (siehe Tabelle 30 und 31). Auch der Ausschluss der Extremwerte führte nicht zu qualitativen Veränderungen. Es wurde daher auf die graphische Darstellung verzichtet.

4. Diskussion

4.1. Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse in beiden Trainingsgruppen

Betrachtet man alle Probanden der LP-Gruppe zusammen, so zeigt sich, dass der Theta/Beta-Quotient sowohl in den Aktivierungs- als auch in den Deaktivierungsaufgaben in die richtige Richtung verändert wurde. Das Training der LP führte in dieser Gruppe also auch zur Veränderung des nicht zurückgemeldeten EEG-Parameters. Besonders bemerkenswert ist die Vergrößerung des Theta/Beta-Quotienten während der Deaktivierungsaufgaben, da es der LP-Gruppe hier nicht gelang, das LP gegenüber der Baseline zu vergrößern.

Auch die LP-Akt-Gruppe verkleinerte ihren Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben und vergrößerte ihn während der Deaktivierungsaufgaben. Der Theta/Beta-Quotient ist hier während der Aktivierungsaufgaben sogar signifikant kleiner als während der Baselinephase. Nach den Kriterien, die in Kapitel 2.6.2 beschrieben wurden, hat diese Gruppe somit die richtige Beeinflussung des LP und des Quotienten während der Aktivierungsaufgaben erlernt. Zusätzlich ist es ihr gelungen, anhand des Quotienten und der Theta-Aktivität signifikant zwischen den beiden Aufgaben zu unterscheiden.

Die Tatsache, dass die LP-Akt-Gruppe während der Aktivierungsaufgaben kleinere Quotienten erzeugen konnte als die LP-Gruppe, kann ein Hinweis darauf sein, dass mit einer größeren LP-Veränderung auch eine größere Veränderung im Quotienten einhergeht. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass es der N-LP-Akt-Gruppe, die während der Aktivierungsaufgaben keine LP generieren konnte, ebenfalls nicht gelang, den Quotienten gegenüber der Baseline zu verringern. Die LP-Akt-Gruppe und die N-LP-Akt-Gruppe unterscheiden sich während der Aktivierungsaufgaben in Bezug auf ihren Theta/Beta-Quotienten signifikant. Untersucht man die Deaktivierungsaufgaben der LP-Gruppe und der LP-Akt-Gruppe, erzeugt auch hier die Gruppe mit dem größeren LP einen größeren Quotienten. Nur die LP-Deakt-Gruppe lässt sich

mit diesen Ergebnissen nicht in Einklang bringen. Obwohl diese Gruppe als einzige signifikant positive LP während der Deaktivierungsaufgaben generieren konnte, ist ihr Quotient während dieser Aufgaben kleiner als der in der LP- und der LP-Akt-Gruppe.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob die Zusammenhänge zwischen den beiden EEG-Parametern der LP-Gruppe auch in einer linearen Regressionanalyse nachweisbar sind. Hier wurden jedoch nur Zusammenhänge während der Aktivierungsaufgaben beobachtet, die nur für die Beta-Aktivität und das LP signifikant wurden.

Bei der QT-Gruppe, der QT-Akt-Gruppe und der QT-Deakt-Gruppe wurden ebenfalls signifikante Veränderungen der LP gefunden, allerdings wurden unabhängig von der Aufgabe nur negative LP generiert. Die QT-Akt-Gruppe konnte zudem nicht wie die LP-Akt-Gruppe signifikant zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden. Auch in der Regressionsanalyse ließen sich keine Zusammenhänge nachweisen.

Das LP-Feedbacktraining führte also, wenn auch deutlich weniger ausgeprägt, zu Veränderungen des Theta/Beta-Quotienten ähnlich den Veränderungen des Theta/Beta-Quotienten der QT-Kinder, während das QT-Feedbacktraining nicht mit spezifischen LP-Veränderungen einherging.

4.2. Mögliche Erklärungen für die gefundenen Zusammenhänge zwischen LP und Frequenzbändern

Auf die LP-Veränderungen in der QT-Gruppe wird hier nicht näher eingegangen, da sowohl während der Aktivierungs- als auch während der Deaktivierungsaufgaben negative Potenziale erzeugt wurden. Dies lässt sich eher auf eine Mobilisierung von Aufmerksamkeit während der Aufgabenphase zurückführen, als dass eine spezifische Beeinflussung der LP durch das QT-Feedbacktraining angenommen werden kann.

Ein Erklärungsansatz für die beim LP-Feedbacktraining gemessenen Veränderungen in den Frequenzbändern baut auf der Annahme auf, dass die LP für die Regulation der kortikalen Erregungsschwellen zuständig sind

(Birbaumer und Schmidt, 2003). Kortextbereiche über denen ein negatives LP abgeleitet wird, besitzen demnach eine niedrigere Erregungsschwelle, während Kortextbereiche, über denen ein positives LP abgeleitet wird, eine höhere Erregungsschwelle besitzen. Als ein Hinweis darauf kann auch die Veränderung der Amplitude der P300 in Abhängigkeit von der Polarität des LP (Ergenoglu et al., 1998) verstanden werden. Die erlernte willkürliche Modulation der LP führt also zu tiefgehenden elektrophysiologischen Veränderungen des Kortex, mit denen auch eine parallele Veränderung anderer EEG-Parameter, wie die in dieser Studie gefundene Veränderung der Frequenzbänder, einhergehen könnte.

Ein anderer Erklärungsansatz lässt sich in Anlehnung an Rockstroh et al. (1990) finden. Danach wird zwischen der „tonischen“ und der „phasischen“ Komponente kortikaler Aktivität unterschieden. Die „tonische“ Komponente bezieht sich auf länger andauernde Veränderungen in den Frequenzbändern, während sich die „phasische“ Komponente auf kurzfristige LP-Veränderungen im zeitlichen Zusammenhang mit Aufmerksamkeit erfordernden Ereignissen oder Aufgaben bezieht. Möglicherweise lässt sich die willkürliche Veränderung der LP, sprich die Veränderung der „phasischen“ Komponente kortikaler Aktivität, nur dann erlernen, wenn zuvor eine Veränderung der „tonischen“ Komponente in Form der Frequenzbänder stattgefunden hat. Die LP-Kinder wären demnach gezwungen gewesen, zunächst die Modulation der Frequenzbänder zu erlernen. Hiermit ließe sich auch erklären, weshalb sie in den ersten Trainingssitzungen geringere Trefferquoten zeigten, d.h. weniger Aufgaben richtig lösten als die QT-Kinder (Leins, U. 2004). Mit dem LP-Feedbacktraining würden schlussendlich komplexere Veränderungen der elektrophysiologischen Vorgänge im Kortex erreicht werden als mit dem QT-Feedbacktraining.

Zum Zusammenhang zwischen den negativen LP und der Beta-Aktivität, wie er in der Regressionsanalyse der LP-Gruppe gefunden wurde, ist noch ein weiterer Erklärungsansatz möglich. Nach Zschocke (2002) haben beide EEG-Parameter denselben Entstehungsmechanismus. Er beschreibt die Abläufe, die nach Auftreten eines Sinnesreizes zur Veränderung des EEG führen und

unterscheidet dabei zwischen spezifischen und unspezifischen thalamischen Afferenzen, die auf den Kortex einwirken. Die spezifischen Afferenzen wirken direkt auf die Entladungstätigkeit der kortikalen Nervenzellen, haben aber kaum Auswirkungen auf das EEG. Die unspezifischen thalamischen Afferenzen, die vorwiegend exzitatorisch an den Pyramidenzellen der obersten Rindenschichten angreifen, haben im Gegensatz dazu einen nur geringen direkten Einfluss auf die kortikalen Nervenzellen. Aufgrund ihrer großen Terminationsfelder kommt es aber durch Summation der exzitatorischen Potenziale zur Negativität (entspricht den negativen LP) von Teilen des Kortex, durch welche die kortikalen Nervenzellen unspezifisch beeinflusst werden. Zusätzlich sind die exzitatorischen Potenziale im EEG auch durch eine Frequenzsteigerung mit Abnahme der Amplitude (Desynchronisation oder Beta-Aktivität) sichtbar. Demnach könnten negative LP und die Beta-Aktivität den gleichen Entstehungsmechanismus haben und ein gemeinsames Auftreten der beiden EEG-Parameter wäre plausibel. Allerdings lässt sich so nicht begründen, weshalb sich in der QT-Gruppe keine parallelen Veränderungen in den LP finden ließen.

4.3. Vergleich mit anderen Studienergebnissen

Vergleichbare Studien zu diesem Thema sind kaum vorhanden. Zwar gibt es mehrere Studien zum Zusammenhang zwischen Frequenzbändern und EKP (Spencer und Polich, 1999, Klimesch et al., 2000 und Lazzaro et al., 2000) und LP und EKP (Ergenoglu et al., 1998), aber nur eine Studie zum Zusammenhang zwischen Frequenzbändern und LP (Kotchoubey et al., 1999a). Auch bei letztgenannter ist die Vergleichbarkeit eingeschränkt, da sich das Lernziel, die Patientengruppe und nicht zuletzt auch die Art der Auswertung unterscheiden. Es wurde ein LP-Feedbacktraining mit 35 Sitzungen bei erwachsenen Epilepsiepatienten durchgeführt, um über die willkürliche Erzeugung positiver LP epileptische Anfälle zu verhindern bzw. zu reduzieren. Die Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben wurden gemeinsam ausgewertet und zusätzlich zur Beta- und Theta-Power, die Alpha- und Delta-Power untersucht, während auf den Theta/Beta-Quotienten nicht eingegangen wurde. Ein QT-Feedbacktraining

wurde nicht durchgeführt. In den Sitzungen 21 bis 35 wurden während der Deaktivierungsaufgaben signifikant größere Werte für die Alpha-, Beta-, Delta- und Theta-Power als während der Aktivierungsaufgaben gemessen. Die Werte für die Alpha-, Delta- und Theta-Power erreichten ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$, der Wert für die Beta-Power erreichte ein Signifikanzniveau von $p < 0,01$. Außerdem wurde eine Korrelationsanalyse über beide Aufgaben durchgeführt und eine Korrelation zwischen den LP und der Alpha-Power gefunden.

Da in der vorliegenden Studie vor allem der Theta/Beta-Quotient untersucht wurde, sind die Ergebnisse schwer zu vergleichen. In der LP-Akt-Gruppe, für die als einzige die Theta- und Beta-Aktivität getrennt untersucht wurde, finden sich jedoch auch signifikant größere Werte für die Theta-Aktivität während der Deaktivierungsaufgaben als während der Aktivierungsaufgaben. Mit der Beta-Aktivität verhält es sich jedoch umgekehrt, sie ist während der Deaktivierungsaufgaben kleiner als während der Aktivierungsaufgaben. Der Wert erreicht allerdings keine Signifikanz. Auch die in der vorliegenden Studie gefundene Korrelation zwischen der Beta-Aktivität und den LP während der Aktivierungsaufgaben, lässt sich durch die Studie von Kotchoubey et al. (1999a) nicht bestätigen. Die Vergleichbarkeit ist jedoch gering, da Kotchoubey et al. (1999a) Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben gemeinsam auswerteten.

Diese teilweise unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich eventuell auch durch die verschiedenen Patientengruppen begründen. Möglicherweise weisen ADHS-Kinder andere Zusammenhänge zwischen den EEG-Parametern auf als erwachsene Epilepsiepatienten. Einen Hinweis darauf liefert die in der Einleitung beschriebene Studie von Lazzaro et al. (2000).

4.4. Fazit

In der Studie konnte gezeigt werden, dass das Feedbacktraining der LP zu qualitativ gleichen, aber geringeren Veränderungen in den Frequenzbänder führt wie das QT-Feedbacktraining. Im Gegensatz dazu führt das Feedbacktraining der Frequenzbänder nur zu unspezifischen Veränderungen der LP. Auch eine Korrelation zwischen den beiden EEG-Parametern konnte

nur für das LP und die Beta-Aktivität während der Aktivierungsaufgaben beim LP-Feedbacktraining gefunden werden.

Das Feedbacktraining der LP führt also möglicherweise zu tiefgreifenderen bzw. komplexeren Veränderungen der elektrophysiologischen Vorgänge im Kortex als das QT-Feedbacktraining (siehe Erklärungsansätze in Kapitel 4.2). Unklar bleibt aber, ob die Probanden in Bezug auf ihre Klinik davon profitieren. Die Ergebnisse von Klinger (2005) zeigen in Bezug auf die klinische Verbesserung keine signifikanten Unterschiede zwischen der QT- und der LP-Gruppe. Allerdings konnten Leins et al. zeigen, dass die LP-Kinder bei der Nachuntersuchung (Post2), die im Abstand von einem halben Jahr nach Trainingsende stattfand, signifikant negativere LP generieren konnten als am Ende des letzten Trainingsblocks. Bei den QT-Kindern war dies in Bezug auf den Theta/Beta-Quotienten nicht der Fall. Das LP-Feedbacktraining führt demnach eventuell zu länger anhaltenden elektrophysiologischen Veränderungen des Kortex als das QT-Feedbacktraining. Möglicherweise geht damit langfristig auch eine stabilere klinische Verbesserung einher.

Die Interpretation der gefundenen Zusammenhänge zwischen LP und Frequenzbändern beim LP-Feedbacktraining muss jedoch vorerst als spekulativ betrachtet werden. Zum einen gibt es kaum vergleichbare Ergebnisse aus anderen Studien, zum anderen waren zwar QT-Veränderungen während beider Aufgaben in der gesamten LP-Gruppe messbar, aber nicht immer signifikant. Es wäre sinnvoll diese Ergebnisse anhand einer größeren Probandenanzahl zu überprüfen und eventuell die Theta- und Beta-Aktivität zusätzlich getrennt zu untersuchen. In der vorliegenden Studie sind allerdings durch eine Auftrennung des Theta/Beta-Quotienten in die Theta- und Beta-Aktivität keine weiteren signifikanten Ergebnisse zu erwarten. Weiterhin wäre es interessant, ob die QT-Veränderungen der LP-Gruppe auch schon in früheren Trainingsblöcken auftraten bzw. ob das Erlernen der QT-Veränderung mit dem Erlernen der LP-Veränderung parallel verlief oder ein EEG-Parameter schneller erlernt wurde. Hier wurde nur der dritte Trainingsblock untersucht, da dort die größten Veränderungen im zurückgemeldeten und nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter zu erwarten waren. Es wurde auch nicht darauf eingegangen, ob die

LP-Kinder ihren Quotienten in den Feedback- und Transfer-Aufgaben gleichermaßen beeinflussen konnten. Dies könnte deshalb von Bedeutung sein, da die Transferaufgaben eventuell eher widerspiegeln, wie sich die EEG-Parameter verhalten, wenn die Gedankenstrategien in Alltagssituationen angewendet werden.

5. Zusammenfassung

Diese Arbeit ist Teil der Studie „Neurofeedbacktherapie bei Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Syndrom“, in der zwei verschiedene Neurofeedbacktherapieverfahren untersucht wurden. Die Stichprobe bestand aus 36 Kindern im Alter von 8 bis 13 Jahren mit ADHS oder ADS gemäß DSM-IV, die randomisiert und parallelisiert den zwei Therapiegruppen zugeteilt wurden. Der einen Gruppe wurden die langsamen Potenziale zurückgemeldet (LP-Gruppe), der anderen Gruppe der Theta/Beta-Quotient (QT-Gruppe). In beiden Gruppen war das Feedback akustisch und optisch. Das Therapieprogramm bestand aus insgesamt 35 Sitzungen à 4 Durchgängen, wobei in jedem Durchgang 38 bis 40 Aufgaben dargeboten wurden. Die Probanden sollten lernen, den jeweils zurückgemeldeten EEG-Parameter während der „Aktivierungsaufgaben“ gegenüber der Baseline zu verkleinern und während der „Deaktivierungsaufgaben“ zu vergrößern.

In dieser Arbeit sollte nun überprüft werden, ob das Feedback des einen EEG-Parameters zu Veränderungen des anderen EEG-Parameters führte, bzw. ob mit Veränderungen des einen EEG-Parameters parallele Veränderungen des anderen EEG-Parameters einhergingen. Um diese Fragen zu beantworten, wurden die Sitzungen 21 bis 30 auf Veränderungen im jeweils nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter untersucht.

Bei den LP-Kindern wurde nur bei der Untergruppe von Probanden, die es gelernt hatten, ihr LP während der Aktivierungsaufgaben in den elektrisch negativen Bereich zu verschieben, signifikante Ergebnisse gemessen. Es gelang ihnen, den Theta/Beta-Quotienten während der Aktivierungsaufgaben gegenüber der Baseline signifikant zu verkleinern und anhand des Quotienten und der Theta-Aktivität signifikant zwischen den beiden Aufgaben zu unterscheiden. Die Untergruppe, deren Mitglieder es nicht gelernt hatten, ihr LP während der Aktivierungsaufgaben in den elektrisch negativen Bereich zu verschieben, konnte entsprechend auch ihren Theta/Beta-Quotient nicht verkleinern. Sie unterschied sich in Bezug auf den Theta/Beta-Quotienten signifikant von der erstgenannten Untergruppe.

Bei der Untersuchung der QT-Gruppe fanden sich keine zum Theta/Beta-Quotienten parallelen Veränderungen des LP. Es wurden zwar teilweise signifikant negative LP gemessen, allerdings wurden diese unabhängig von der Aufgabe und der untersuchten Untergruppe generiert.

Genauso konnten in der linearen Regressionanalyse nur signifikante Zusammenhänge für die LP-Gruppe gefunden werden, allerdings auch hier nur für die Beta-Aktivität und das LP in den Aktivierungsaufgaben.

Nach dieser Studie scheint lediglich das LP-Feedbacktraining spezifische Auswirkungen auf den nicht zurückgemeldeten EEG-Parameter zu haben. Es wird vermutet, dass mit diesem Therapieansatz tiefer bzw. komplexer in die elektrophysiologische Regulation des Kortex eingegriffen wird als mit dem QT-Feedbacktraining (genauere Erläuterungen dazu in Kapitel 4.2).

Um endgültige Aussagen machen zu können, ist die momentane Datenlage jedoch nicht ausreichend. Da es kaum vergleichbare Studien gibt, wäre es interessant, die gemessenen Veränderungen an einer größeren Gruppe von Probanden zu überprüfen.

6. Literaturverzeichnis

- Anders, A. und Bahn Müller, H. (2000a) Fragebogen für Lehrer/innen.
- Anders, A. und Bahn Müller, H. (2000b) Fragebogen zur Entwicklung bei Schulkindern.
- Arnold, D.S., O'Leary, S.G., Wolff, L.S., Acker, M.M. (1993) The Parenting Scale: A measure of dysfunctional parenting in discipline situations. *Psychological Assessment* 5, 137-144.
- Barkley, R.A. (1998) Attention-deficit hyperactivity disorder: a handbook for diagnosis and treatment. Guilford: New York
- Barkley, R.A. und Edwards, G. (1998) Diagnostic Interview, Behavior Rating Scales and the Medical Examination, pp. 263-294 in 'Attention-Deficit-Hyperactivity Disorder. A Handbook for Diagnosis and Treatment.', Herausgeber: R.A. Barkley, Guilford Press: New York, Auflage 2
- Barry, R.J., Clarke, A.R., Johnstone, S.J. (2003) A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: I. Qualitative and quantitative electroencephalography. *Clinical Neurophysiology* 114, 171-183.
- Barry, R.J., Clarke, A.R., McCarthy, R., Selikowitz, M. (2002) EEG coherence in attention-deficit/hyperactivity disorder: a comparative study of two DSM-IV types. *Clinical Neurophysiology* 113, 579-585.
- Birbaumer, N. und Schmidt, R.F. (2003) Methoden der Biologischen Psychologie, pp. 485-514 in 'Biologische Psychologie', Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York, Auflage 5
- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A.G., Rockstroh, B. (1990) Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. *Physiological Reviews*. 70, 1-41.
- Birbaumer, N., Elbert, T., Rockstroh, B., Lutzenberger, W. (1981) Biofeedback of event-related slow potentials of the brain. *International Journal of Psychology* 16, 389-415.
- Brandeis, D., Banaschewski, T., Baving, L., Georgiewa, P., Blanz, B., Schmidt, M., Warnke, A., Steinhausen, H.-C., Rothenberger, A., Scheuerpflug, P. (2002) Multicenter P300 Brain Mapping of Impaired Attention to Cues in Hyperkinetic Children. *Journal of American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 41, 990-998.
- Chabot, J.R. und Serfontein, G. (1996) Quantitative Electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder. *Biological Psychiatry* 40, 951-963.

Clarke, A.R., Barry, R.J., McCarthy, R. (1998) EEG analysis in attention-deficit/hyperactivity disorder: a comparative study of two subtypes. *Psychiatry Research* 81, 19-29.

Clarke, A.R., Barry, R.A., Mc Carthy, R, Selikowitz, M. (2001) Age and sex effects in the EEG: differences in two subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology* 112, 815-826.

Conners, C.K. (1997) Conner's Rating Scales - revised; technical manual. Multi-Health Systems: North Tonawande, N.Y.

Danzer, N. (2005) Selbstregulation der langsamen kortikalen Potenziale bei Kindern mit und ohne ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung). Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Dumais-Huber, C., Rothenberger, A. (1992) Psychophysiological correlates of orienting, anticipation and contingency changes in children with psychiatric disorders. *Journal of Psychophysiology* 6, 225-239.

Egner, T., Gruzelier, J. (2001) Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology* 12, 4155-4159.

Elbert, T., Rockstroh, B., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. (1980) Biofeedback of slow cortical potentials. I. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*. 48, 293-301.

Ergenoglu, T., Demiralp, T., Beydagi, H., Karamursel, S., Devrim, M., Ermutlu, N. (1998) Slow cortical potential shifts modulate P300 amplitude and topography in humans. *Neuroscience Letters*. 251, 61-64.

Eyberg, S.M., Pincus, D. (1999) Eyberg Child Behavior Inventory & Sutter-Eyberg Student behavior Inventory - Revised. Psychological Assessment Resources: Odessa, FL

Eyberg, S.M., Robinson, E.A. (1983) Conduct problem behavior: Standardization of a behavioral rating scale with adolescents. *Journal of clinical child psychology* 12, 347-354.

Földényi, M., Imhof, K., Steinhausen, H.-C. (2000) Klinische Validität der computerunterstützten TAP bei Kindern mit Aufmerksamkeits-/Hyperaktivitätsstörungen. *Zeitschrift für Neuropsychologie* 11, 154-167.

Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J.H., Kaiser, J. (2003) Neurofeedback Treatment for Attention-Deficit /Hyperactivity Disorder in Children: A Comparison With Methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 28, 1-12.

Goth, G. (2005) Prädiktoren für die kortikale Selbstregulation und klinische Verbesserung. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Hinterberger, T. (1999) Entwicklung und Optimierung eines Gehirn-Computer-Interfaces mit langsamen Hirnpotentialen. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Hinterberger, T., Kaiser, J., Kübler, A., Neumann, N., Birbaumer, N. (2001) The Thought Translation Device and its Applications to the Completely Paralyzed in 'Sciences of the Interfaces'. Herausgeber: Diebner, Druckrey und Weibel, Genista-Verlag: Tübingen

Hjorth, B. (1975) An on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 39, 526-530.

Jasper, H.H. (1958) The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 10, 371-375.

Johnstone, S.J., Barry, R.J., Anderson, J.W. (2001) Topographic distribution and developmental timecourse of auditory event-related potentials in two subtypes of attention-deficit hyperactivity disorder. *International Journal of Psychophysiology* 42, 73-94.

Johnstone, S.J., Barry, R.J., Dimoska, A. (2003) Event-related slow-wave activity in two subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology* 114, 504-514.

Karayanidis, F., Robaey, P., Bourassa, M., De K., Geoffroy, G., Pelletier, G. (2000) ERP differences in visual attention processing between attention-deficit hyperactivity disorder and control boys in the absence of performance differences. *Psychophysiology* 37, 319-333.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Winkler, T., Gruber, W. (2000) Theta oscillations and the ERP old/new effect: independent phenomena? *Clinical Neurophysiology*. 111, 781-793.

Klinger, C. (2005) Stabilität der kortikalen Selbstregulation und des Therapieerfolgs. Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Kotchoubey, B., Busch, S., Strehl, U., Birbaumer, N. (1999a) Changes in EEG power spectra during biofeedback of slow cortical potentials in epilepsy. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 24, 213-233.

Kotchoubey, B., Strehl, U., Holzapfel, S., Schneider, D., Blankenhorn, V., Birbaumer, N. (1999b) Control of cortical excitability in epilepsy. *Advances in Neurology*.81:281-90.

Kropp, P., Linstedt, U., Niederberger, U., Gerber, W.D. (2001) Contingent negative variation and attentional performance in humans. *Neurological Research*. 23, 647-650.

Kubinger, K., Wurst, E. (2000) Adaptives Intelligenz Diagnostikum Version 2.1 (AID 2). Beltz: Göttingen

Kuhlmann, M. (1998) Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität bei ADHD-Kindern mit und ohne Atopie. Ein Beitrag zur Subgruppendiskussion und Konstruktvalidität von ADHD. Universität Tübingen

Lauth, G.W., Naumann, K., Roggenkämper, A., Heine, A. (1996) Verhaltensmedizinische Indikation und Evaluation einer kognitiv-behavioralen Therapie mit aufmerksamkeitsgestörten/hyperaktiven Kindern. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie* 24, 164-175.

Lauth, G.W., Schlotke, P.F. (2002) Training mit aufmerksamkeitsgestörten Kindern. Beltz Verlag: Weinheim, 5.Auflage

Lazzaro, I., Gordon, E., Whitmont, S., Meares, R., Clarke, S. (2001) The modulation of late component event related potentials by pre-stimulus EEG theta activity in ADHD. *International-journal-of-neuroscience* 107, 247-264.

Leins, U. (2004) Train your brain
Durchführung eines Neurofeedbacktrainings für Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit- und/oder Hyperaktivitäts-Impulsivitätsstörung (ADHS). Dissertation an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., Strehl, U., Neurofeedbacktraining of slow cortical potentials and theta/beta-rhythms for children with ADHD: comparison of short- and long-term effects (Publikation in Vorbereitung)

Loiselle, D.L., Stamm, J.S., Maitinsky, S., Whipple, S.C. (1980) Evoked potentiation and behavioral signs of attentive dysfunctions in hyperactive boys. *Psychophysiology* 17, 193-201.

Lubar, J.F., Swartwood, M.O., Swartwood, J.N., O'Donnell, P.H. (1995) Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in TOVA scores, behavioral ratings and WISC-R performance. *Biofeedback and Self- Regulation* 20, 83-99.

Lubar, J.F. (1991) Discourse on the Development of EEG Diagnostics and Biofeedback Treatment for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorders. *Biofeedback and Self Regulation* 16, 201-225.

Mann, C.A., Lubar, J.F., Zimmerman, A.W., Miller, C.A., Muenchen, R.A. (1992) Quantitative analysis of EEG in boys with ADHD: controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology* 8, 30-36.

Miller, Y. (2000) Erziehung von Kindern im Kindergartenalter. Erziehungsverhalten und Kompetenzüberzeugungen von Eltern und der Zusammenhang zu kindlichen Verhaltensstörungen. Dissertation an der TU Braunschweig

Monastra, V.J., Linden, M., VanDeusen, P., Green, G., Wing, W., Phillips, A., Fenger, T.N. (1999) Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography. *Neuropsychology* 13, 424-433.

Monastra, V.J., Lubar, J.F.L.M. (2001) The Development of a Quantitative Electroencephalographic Scanning Process for Attention Deficit --Hyperactivity Disorder Reliability and Validity studies. *Neuropsychology* 15(1), 136-144.

Monastra, V.J., Monastra, D.M., George, S. (2002) The Effects of Stimulant Therapy, EEG Biofeedback, and Parenting Style on the Primary Symptoms of Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 27, 231-249.

Oldfield, R.C. (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113.

Perchet, C., Revol, O., Fournier, P., Mauguier, F., Garcia, L. (2001) Attention shifts and anticipatory mechanisms in hyperactive children: an ERP study using the Posner paradigm. *Biol Psychiatry* 50, 44-57.

Ravens-Sieberer, U. (2003) Der Kindl-R Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen - Revidierte Form, pp. 184-188 in 'Diagnostische Verfahren zu Lebensqualität und Wohlbefinden', Herausgeber: J. Schuhmacher, A. Klaiberg, und E. Brähler, Hogrefe: Göttingen

Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. (1990) Biofeedback: Evaluation and Therapy in Children with Attentional Dysfunctions pp. 345-357 in 'Brain and Behavior in Child Psychiatry' von A. Rothenberger, Springer-Verlag: Berlin

Rockstroh, B., Elbert, T., Canavan, A., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. (1989) Slow cortical potentials and behavior, Urban & Schwarzenberg: Baltimore, München, Wien)

Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, W., Birbaumer, N. (1982) The effects of slow cortical potentials on response speed. *Psychophysiology*. 19, 211-217.

Saß, H., Wittchen, H.U., Zaudig, M. (1996) Diagnostisches und Statistisches Manual Psychischer Störungen, DSM-IV, Hogrefe: Göttingen

Satterfield, J.H., Schell, A.M., Nicholas, T. (1994) Preferential neural processing of attended stimuli in attention-deficit hyperactivity disorder and normal boys. *Psychophysiology*. 31, 1-10.

Spencer, K.M., Polich, J. (1999) Poststimulus EEG spectral analysis and P300: attention, task, and probability. *Psychophysiology*. 36, 220-232.

Tewes, U., Rossmann, P., Schallberger, U. (1999) Hamburg Wechsler Intelligenztest für Kinder - Dritte Auflage (HAWIK III), Huber: Bern

Thompson, L., Thompson, M. (1998) Neurofeedback combined with training in metacognitiv strategies: effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 23, 243-263.

Weber, C. (2003) Fakt oder Artefakt? Die Atmung als Artefaktquelle bei SCP-Biofeedback-Verfahren. Diplomarbeit am Institut für Psychologie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Wender, E.H. (2002) Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Is it common? Is it overtreated? *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine* 156, 209-210.

Wittchen, H.U. (1989) Diagnostisches und Statistisches Manual Psychischer Störungen DSM-III-R, Beltz: Weinheim

Zimmermann, P., Fimm, B. (2002) Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP), Version 1.7, PsyTest: Herzogenrath

Zschocke, S. (2002) Entstehungsmechanismen des EEG, pp. 3-46 in 'Klinische Elektroenzephalographie', Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2. Auflage

7. Anhang

Tabelle 32

Normierte Mittelwerte (Mittelwert/Standardfehler) der Probanden der LP-Gruppe während der Aktivierungsaufgaben

Proband	Langsames Potenzial	Theta/Beta-Quotient	Theta-Aktivität	Beta-Aktivität
LP12	-21,01	-3,97	7,68	11,87
LP14	-2,58	-0,55	-1,85	-2,23
LP15	2,99	-0,35	0,85	0,12
LP18	-11,81	3,62	3,91	-2,03
LP19	6,99	0,98	-1,40	-3,09
LP23	-2,38	-4,33	-4,77	-0,85
LP26	-1,41	8,45	8,78	-1,85
LP27	-22,87	-3,58	-2,46	0,42
LP29	-15,06	-2,18	-1,72	0,13
LP31	-3,25	-1,91	-0,55	1,81
LP32	-16,90	-2,34	0,36	3,12
LP33	-14,46	-1,83	-2,43	-0,48
LP34	0,45	1,88	1,17	-1,26
LP35	1,00	-1,72	0,17	0,86
LP36	-6,82	-4,42	-3,42	-1,58
LP37	-18,14	-2,07	-1,12	-0,24
LP38	-8,51	1,50	0,59	-1,24
LP39	-1,96	-0,43	1,50	2,14

Tabelle 33

Normierte Mittelwerte(Mittelwert/Standardfehler) der Probanden der QT-Gruppe während der Aktivierungsaufgaben

Proband	Langsames Potenzial	Theta/Beta-Quotient	Theta-Aktivität	Beta-Aktivität
QT03	1,65	-6,09	-7,62	-1,22
QT05	-3,61	-2,79	-1,88	0,43
QT06	-7,81	-14,92	-9,59	9,38
QT08	-5,03	0,50	-5,95	-6,83
QT16	-2,23	-7,40	-8,92	-2,23
QT23	1,53	-16,83	-3,60	16,60
QT25	-1,59	-14,22	6,94	16,34
QT41	4,16	-12,45	1,29	9,42
QT45	5,04	-12,83	-0,65	9,42
QT47	-6,46	-6,68	-7,49	-0,32
QT49	2,58	1,06	0,33	-2,08
QT58	-9,34	-11,18	8,26	13,39
QT59	-4,54	-2,52	-7,27	-5,28
QT60	-4,58	-3,41	-4,75	-1,58
QT61	-10,65	-3,74	0,68	3,66
QT67	-2,55	3,22	-2,66	-8,44
QT69	-5,11	-1,38	-2,08	-1,70
QT21	-3,64	1,52	-0,96	-4,41

Tabelle 34

Normierte Mittelwerte(Mittelwert/Standardfehler) der Probanden der LP-Gruppe während der Deaktivierungsaufgaben

Proband	Langsames Potenzial	Theta/Beta-Quotient	Theta-Aktivität	Beta-Aktivität
LP12	-12,40	3,32	7,89	5,04
LP14	-5,49	-1,79	-1,72	-0,38
LP15	0,02	1,41	0,85	-1,65
LP18	2,91	0,62	2,49	1,50
LP19	3,82	-1,65	-1,18	0,09
LP23	-2,71	-1,24	-3,51	-3,25
LP26	-10,39	7,07	5,80	-3,19
LP27	-7,48	2,30	0,15	-3,45
LP29	-10,41	-2,14	-0,85	1,24
LP31	-1,78	1,43	0,64	-1,61
LP32	0,04	0,86	1,97	-0,26
LP33	-6,97	1,21	-0,30	-2,25
LP34	-1,01	1,88	0,52	-2,15
LP35	0,83	-1,44	-1,34	-0,37
LP36	-6,90	-1,46	-0,60	-0,18
LP37	3,94	1,40	4,51	-1,22
LP38	-5,31	0,55	1,38	0,21
LP39	-0,54	1,40	2,29	0,15

Tabelle 35

Normierte Mittelwerte(Mittelwert/Standardfehler) der Probanden der QT-Gruppe während der Deaktivierungsaufgaben

Proband	Langsames Potenzial	Theta/Beta-Quotient	Theta-Aktivität	Beta-Aktivität
QT03	0,86	-1,76	-4,93	-3,22
QT05	-3,27	0,47	0,41	-0,94
QT06	-4,00	23,35	20,62	-4,64
QT08	-4,83	5,30	-4,92	-9,86
QT16	-3,46	-3,34	-3,92	-1,01
QT23	-0,94	8,67	7,44	-5,22
QT25	-3,87	6,51	2,09	-6,29
QT41	1,38	2,39	-3,16	-6,05
QT45	3,98	-0,35	-4,89	-5,52
QT47	-9,34	-4,63	-5,48	-0,50
QT49	3,27	1,67	0,95	-2,36
QT58	-7,31	1,63	-7,08	-7,30
QT59	-3,35	0,61	-0,47	-3,31
QT60	-3,40	-3,47	-4,33	-0,91
QT61	-8,31	4,59	2,07	-6,00
QT67	-3,05	-0,48	-4,50	-5,20
QT69	-2,95	-0,34	-1,62	-1,16
QT21	-1,53	-1,09	-2,38	1,60

Vielen Dank an...

Prof. Dr. Niels Birbaumer, durch dessen Unterstützung dieses Projekt erst ermöglicht wurde und der mein Interesse an der Neurofeedbackforschung weckte,

Dr. Ute Strehl, die sich für alle meine Fragen Zeit genommen und mich während des gesamten Entstehungsprozesses dieser Arbeit geduldig begleitet hat, ihr gilt mein besonderer Dank,

Ulrike Leins, Gabriella Goth, Christoph Klinger, Nadine Danzer, Cornelia Weber, Lena Greulich und Sonja Kaller, die DoktorandInnen und PraktikantInnen des ADHS-Projekts, durch deren große Hilfsbereitschaft eine gute Zusammenarbeit und freundliche Arbeitsatmosphäre entstand, die mir immer in guter Erinnerung bleiben wird,

Dr. Thilo Hinterberger für die Bereitstellung des Computerprogramms TTD und die immer wieder notwendigen Erläuterungen dazu,

Dr. Tina Herberts (Institut für Biometrie der Medizinischen Fakultät Tübingen) für die Beratung bei der Datenauswertung,

Dr. Boris Kotchoubey, der sich bei statistischen Fragen immer Zeit genommen und mir mit guten Ideen weiter geholfen hat

...und nicht zuletzt **vielen Dank** an die Kinder und deren Eltern, die mit so viel Ausdauer an diesem Projekt teilgenommen haben.

LEBENS LAUF

Persönliche Daten:

Name: Nicola Andrea Rumpf
Geburtsdatum: 21.11.1978
Geburtsort: Karlsruhe

Schulbildung:

1985-1989 Grundschohle: Laiblinsschohle Pfullingen
1989-1998 Friedrich-Schiller-Gymnasium Pfullingen
mit Abitur im Juni 1998

Studium:

Okt. 1999 bis Mai 2006 Medizinstudium an der Eberhard Karls
Universität Tübingen
17. 08. 2001 Ärztliche Vorprüfung
19. 09. 2002 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
15. 03. 2005 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
19. 05. 2006 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
Jan. 2003 bis Okt. 2005 Promotion am Institut für Medizinische
Psychologie und Verhaltensneurobiologie
Tübingen

Pflegepraktika:

Mai/Juni 1999 Pflegepraktikum in der Gynäkologie,
Kreiskrankenhaus Reutlingen
Juni/Juli 1999 Pflegepraktikum in der Geriatrie, Paul-
Lechler-Krankenhaus Tübingen

Famulaturen:

Feb./März 2002 Innere Medizin im St. Hedwig Krankenhaus,
Berlin
Sept./Okt. 2002 Pädiatrie im Helios Klinikum, Berlin
Feb./März 2003 Gynäkologie an der Universitäts-Frauenklinik
Tübingen
März 2004 Pädiatrie und Gynäkologie in der Siddhi
Memorial Foundation, Bhaktapur (Nepal)

Praktisches Jahr:

April 2005 bis Aug. 2005 Chirurgie am Klinikum Stuttgart,
Katharinenhospital
Aug. 2005 bis Dez. 2005 Innere Medizin am Klinikum Stuttgart,
Katharinenhospital
Dez. 2005 bis März 2006 Pädiatrie am Klinikum Stuttgart, Olgahospital

Stuttgart, 11. 07. 2006