

**Aus dem Institut für Medizinische Psychologie  
der Universität Tübingen  
Direktor: Professor Dr. N. Birbaumer**

**Einfluss eines Neurofeedbacktrainings  
auf das EEG gesunder Kinder**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Susan Jennifer Weber**

**aus**

**Poughkeepsie, USA**

**2009**

Dekan: Professor Dr. med. Ingo Authenrieth

1. Berichterstatter: Privatdozentin Dr. Ute Strehl

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Michael Günter



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Neurofeedback .....	1
1.2 Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP, engl.: event related potentials, ERP).....	3
1.3 Die langsamen Potenziale (LP) .....	4
1.4 LP-Training und EEG.....	7
1.5 EEG und Aufmerksamkeit .....	8
1.6 Selbstregulation der langsamen kortikalen Potentiale bei Kindern mit und ohne Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) (Danzer, 2005).....	12
1.7 Fragestellungen .....	15
<b>2. Probanden und Methoden .....</b>	<b>18</b>
2.1 Probanden .....	18
2.2 Versuchsplan.....	18
2.3 Messinstrumente.....	19
2.4 Das Neurofeedbacktraining.....	21
2.5 Auswertung der Daten.....	30
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>35</b>
3.1 Lernverlauf der gesamten Gruppe.....	35
3.2 Lernerfolg (Vergleich der Sitzungen 2+3 mit den Sitzungen 9+10) .....	38
3.3 Beschreibungen einzelner Lernverläufe.....	41
3.4 Überblick über Regulierer und Nicht-Regulierer .....	44
3.5 Kovarianzanalyse der Trainingsdaten .....	45
3.6 d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test.....	46
3.7 EEG-Daten .....	46
3.8 Kovarianzanalyse der EEG Daten .....	49
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>50</b>
4.1 Lernverlauf (Fragestellung I).....	50
4.2 Lernerfolg (Fragestellungen II – IV).....	55
4.3 Veränderungen in der Aufmerksamkeitsleistung (Fragestellung V).....	58
4.4 Veränderungen im EEG (Fragestellung VI) .....	59
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>67</b>
<b>I. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>II. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>III. Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>76</b>
<b>IV. Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>77</b>
<b>V. Danksagung.....</b>	<b>79</b>
<b>VI. Lebenslauf.....</b>	<b>80</b>

## **1. Einleitung**

Die folgende Arbeit stellt Ergebnisse einer Neurofeedbackstudie mit gesunden Kindern vor. In der Studie wurde versucht, die Ergebnisse einer vorausgehenden Studie zu replizieren (Danzer, 2005) sowie den Einfluss des Trainings auf das Elektroenzephalogramm (EEG) gesunder Kinder zu untersuchen. Am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie der Universität Tübingen nahmen insgesamt 20 Kinder im Alter von 8-13 Jahre an dem zehnstündigen Neurofeedbacktraining teil.

### **1.1 Neurofeedback**

Biofeedback im Allgemeinen ist eine Methode, meist im Rahmen einer Verhaltenstherapie, bei der Selbstkontrolle über physiologische Funktionen (z.B. Herzfrequenz, Muskelaktivität, Hirnströme) erworben wird.

Beim Neurofeedback (NF) oder EEG-Feedback im Speziellen soll eine Selbstkontrolle über die Hirnaktivität erlernt werden. Dabei wird die elektrische Aktivität des Gehirns mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) gemessen und dem Patienten/Probanden unmittelbar rückgemeldet.

Dieser wird entweder akustisch oder visuell dazu aufgefordert, seine Hirnaktivität in eine bestimmte Richtung (z.B. Verringerung der Theta- und Steigerung der Beta-Aktivität oder Negativierung von langsamen Potenzialen (LP)) zu verändern.

Da die direkte Rückmeldung sowie die ihr inhärente positive Verstärkung wichtig für das Erlangen der Selbstkontrolle sind, findet die Veränderung nach dem Prinzip des operanten Lernens statt.

Die ersten Studien zum NF wurden bereits vor mehr als 30 Jahren durchgeführt (Lubar & Shouse, 1976). Am besten untersucht sind in den seither durchgeführten Studien die Auswirkungen eines Neurofeedbacktrainings auf Patienten mit Epilepsie und Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS).

Da die vorliegende Arbeit im Rahmen einer Studie mit ADHS-Kindern stattfand, sollen vor allem die Ergebnisse aus diesem Bereich näher vorgestellt werden.

Grundsätzlich lassen sich beim Neurofeedback zwei verschiedene Trainingsstrategien unterscheiden.

Zum einen das Frequenztraining, bei dem entweder die Aktivität eines bestimmten EEG-Frequenzbands (z.B. Theta, Alpha, Beta) oder der Quotient aus mehreren Frequenzbändern (z.B. Theta/Beta, Theta/Alpha) an einer oder mehreren Elektrodenposition verändert werden soll. Im Zuge des Trainings bei ADHS sollen die Patienten beispielsweise lernen, ihre Beta-Aktivität zu steigern und die Aktivität im Theta-Band zu verringern, beziehungsweise ihren Theta/Beta Quotienten, zum Beispiel an der Elektrodenposition Cz, zu erniedrigen (Heinrich et al., 2004; Lubar, 1995; Monastra et al., 2002).

Der Ansatzpunkt für dieses Vorgehen liegt in der Beobachtung, dass Kinder mit ADHS im Vergleich zu gesunden Kindern, im EEG vor allem zentral und frontal eine geringere Beta- und Alpha- und eine gesteigerte Theta-Aktivität aufweisen (Monastra et al., 1999; Mann et al., 1992, Chabot & Serfontein, 1996; Chabot et al. 1996).

Serman (1996) hat gezeigt, dass sich alle Veränderungen der Aufmerksamkeit oder Verhaltenskontrolle in einem bestimmten EEG-Frequenzrhythmus an bestimmten topographischen Positionen widerspiegeln. Ist eine Neuropathologie vorhanden (wie z.B. ADHS, Epilepsie), so ist dieser Rhythmus verändert. Ein Frequenztraining zielt daher darauf ab, den Rhythmus zu normalisieren.

Die zweite Strategie ist das Training der langsamen kortikalen Potenziale (LP, engl.: slow cortical potentials = SCP). Hierbei sollen die Probanden langsame Potenziale in die elektrisch negative oder positive Richtung verschieben und dadurch die Erregungsschwelle ihres Gehirns anheben bzw. senken.

In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass negative LP positiv mit Aufmerksamkeit und Arbeitsgeschwindigkeit korrelieren (z.B. Birbaumer et al., 1990; Rockstroh et al., 1982), weshalb es sinnvoll erscheint, ein NF-Training mit LP zur Steigerung der Aufmerksamkeit bzw. zur Senkung der Erregungsschwelle des Gehirns, zum Beispiel in der ADHS-Therapie, anzuwenden (Heinrich et al., 2004; Strehl et al., 2006, Drechsler et al., 2007).

Leins et al. (2006) verglichen die Ergebnisse bei ADHS-Kindern nach einem LP-Training mit einem Theta/Beta-Training. Dabei konnten sie zeigen, dass beide Gruppen gleichermaßen Verbesserungen im Verhalten und in kognitiven Aufgaben erzielen konnten. Es kann also zum heutigen Zeitpunkt keine Aussage gemacht werden, welches der beiden Verfahren wirksamer ist (Heinrich et al., 2007).

Da über die langsamen Potenziale bei Kindern bisher wenig bekannt ist und die Ergebnisse von Danzer (2005) repliziert werden sollten, untersuchte die vorliegende Studie die Auswirkungen eines LP-Trainings. Im Folgenden soll daher noch näher auf die langsamen Potenziale, ihre Entstehung und Bedeutung eingegangen werden.

## **1.2 Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP, engl.: event related potentials, ERP)**

Neben den sogenannten spontanen Oszillationen des Gehirns gibt es weitere Potenziale, die in Bezug auf dargebotene Reize gemessen werden können und deren charakteristische Wellenabfolge einzelne Schritte der Informationsverarbeitung widerspiegeln. Zu diesen ereigniskorrelierten Potenzialen (EKP) gehören die langsamen Potenziale (LP) (Lutzenberger et al, 1985).

EKP sind reizevozierte Spannungsveränderungen des Gehirns, die zeitlich an sensorische, motorische oder kognitive Prozesse gekoppelt sind.

Sie werden abgeleitet, indem ein Reiz mehrfach präsentiert und die entsprechenden EEG-Epochen reizbezogen gemittelt werden. Dadurch wird die nicht reizgebundene Spontanaktivität herausgemittelt. Die verbleibende ereigniskorrelierte Aktivität reflektiert physikalische Parameter des Reizes sowie perzeptuell-kognitive Prozesse der Stimulusverarbeitung (Rüsseler et al., 2005).

Die einzelnen Komponenten eines EKP werden je nach ihrem Vorzeichen und ihrem zeitlichen Auftreten nach der Reizdarbietung (Latenz) benannt. Dabei werden negative Komponenten mit N, positive Komponenten mit P gekennzeichnet. Die Zahl bezeichnet die Auftretensreihenfolge (N1, N2, P1, P2)

beziehungsweise die Latenz der maximalen Amplitude in Millisekunden (P300). Dabei ist es wichtig zu wissen, dass weniger die genaue Zeitkomponente eine Rolle spielt, als vielmehr die Informationsverarbeitung, die durch diese Komponente dargestellt wird. So kann bei manchen Prozessen beispielsweise die P300 wesentlich später auftreten, jedoch funktionell eine P300 darstellen.

Die frühen Komponenten (innerhalb der ersten 100 Millisekunden) werden auch als exogene „VertexPotenziale“ bezeichnet, sie hängen wesentlich von den physikalischen Eigenschaften des auslösenden Reizes ab.

Darauf folgen die endogenen Komponenten (ab 100 Millisekunden Latenz), sie sind weniger von der Art des physikalischen Reizes, als vielmehr von psychologischen Faktoren wie z.B. Aufmerksamkeit abhängig.

Zwei wichtige endogene Komponenten, die häufig im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit und Informationsselektion genannt werden sind die N100 und die P300. Die N100 wird vor allem mit Aufmerksamkeit und Reizselektion in Verbindung gebracht, da ihre Amplitude größer wird, wenn die Aufmerksamkeit durch Instruktion auf einen bestimmten Zielreiz gerichtet wird (Lutzenberger et al., 1985a). Die P300 spiegelt Gedächtnisaspekte der Informationsverarbeitung und Speichervorgänge eines Ereignisses im Gedächtnis wider (Lutzenberger et al., 1985a).

Barry et al. (2003) geben eine Übersicht über die bisher erforschten Unterschiede der EKP bei gesunden Kindern und Kindern mit ADHS. Da die Ergebnisse stark vom Subtyp des ADHS abhängig sind, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden.

### **1.3 Die langsamen Potenziale (LP)**

Als langsame Potenziale gelten alle EKP, die nach 500 Millisekunden auftreten. Sie spiegeln Erregungsschwellen kortikaler Neuronenverbände wider, dabei stellen negative LP eine hohe Aktivierung bzw. Senkung der Erregungsschwelle und positive LP eine niedrige Aktivierung bzw. Hemmung oder Anhebung der Erregungsschwelle dar.

An der Entstehung der LP sind sowohl kortikale als auch subkortikale Strukturen beteiligt.



LP oszillieren mit einer Frequenz von weniger als 1 Hz. Sie treten bei der Vorbereitung auf ein motorisches oder kognitives Verhalten oder Ereignis auf. Dabei spielt es keine Rolle, ob dieses Verhalten selbst erzeugt ist oder auf ein angekündigtes externes Ereignis erfolgt. Eine erhöhte Aktivität (= kortikale Negativierung) ist für die Planung bzw. Mobilisierung zielgerichteten Verhaltens notwendig. Sie deutet an, dass zusätzliche Energiereserven benötigt werden, zum Beispiel bei neuen komplexen Situationen.

Eine kortikale Positivierung hingegen spiegelt einen Zustand zerebraler Performanz (Rockstroh et al., 1990) wider, in dem Ressourcen verbraucht werden. Positivierungen treten bei der Bewältigung von kognitiven Aufgaben auf oder lassen sich in Ruhezuständen beobachten (Birbaumer et al., 1990).

### 1.3.1 Kontingente negative Variation, CNV

Ein wichtiger Vertreter der LP ist die kontingente negative Variation (engl.: contingent negative variation = CNV). Birbaumer et al. (1990) gehen davon aus, dass die CNV und die im NF-Training generierten LP dasselbe Phänomen darstellen.

Die CNV wurde von Walter et al. (1967) beschrieben und als „Aufmerksamkeitswelle“ bezeichnet.

Im klassischen CNV-Experiment wird dieses LP zwischen zwei zeitlich kontingenten Reizen gemessen. Dabei stellt ein erster Stimulus (S1) einen Warnreiz dar, z.B. ein Ton, der einen wenige Sekunden später nachfolgenden imperativen Reiz (S2) ankündigt. Auf S2 muss schnell, z.B. durch Knopfdruck, reagiert werden.

Im EEG zeigt sich eine negative Gleichspannungsverschiebung zwischen Warn- und Imperativreiz. Dabei ist die Amplitude umso höher, je bedeutsamer der Stimulus oder je größer die Aufmerksamkeit des Probanden ist. Das Ausmaß der Negativierung zwischen S1 und S2 repräsentiert zum einen Erwartungsprozesse und die Bereitschaft zu sensorischer Reizverarbeitung und zum anderen die motorische Mobilisierung auf die geforderte Reaktion.

Die CNV tritt vor erwarteten Ereignissen auf und besteht aus einem frühen (CNV1) und einem späten (CNV2) negativen Gipfel (biphasische Welle, vgl. Abbildung 1.1).

Die CNV1 wird mit der Orientierungsreaktion in Zusammenhang gebracht, während die CNV2 mit der Vorbereitung einer Reaktion assoziiert wird (Birbaumer et al., 1990).

Wie bereits erwähnt, kann die CNV mit den LP während des NF verglichen werden, auch wenn hier der imperative Reiz und entsprechend die zweite Komponente (CNV2) fehlen. In Abb. 1.1 wird dies verdeutlicht. Links ist die CNV dargestellt. Vergleicht man die Wellenform im rechten Bild (Welle während einer Negativierungsaufgabe), so wird deutlich, dass sich während einer Negativierungsaufgabe ein vergleichbares negatives Potenzial messen lässt, wie bei S1 im klassischen CNV-Experiment.

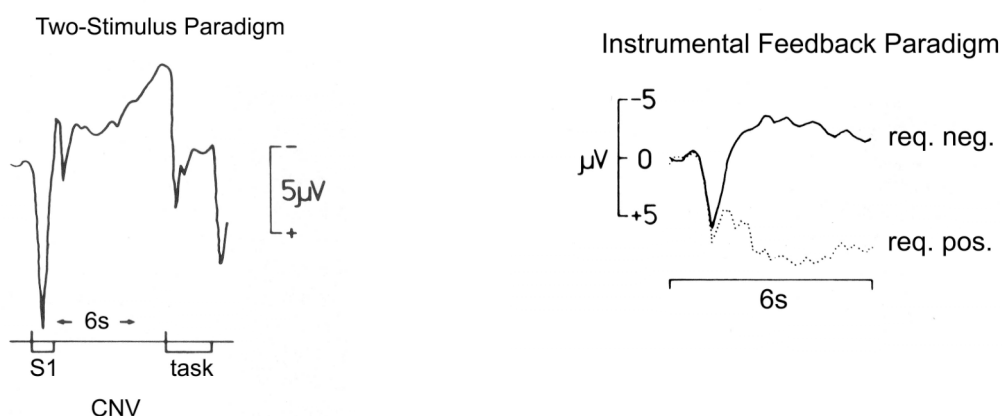


Abb. 1.1: Vergleich des CNV und Feedback Paradigma. Quelle: Birbaumer, 1990 (mit freundlicher Genehmigung)

In der Praxis hat dies Auswirkungen auf die Anleitung der Probanden während des NF. Sollen die Probanden ihre Erregungsschwelle herabsetzen, (Negativierung) ist es sinnvoll, sich eine Situation vorzustellen, in der, nach Aufforderung (S1), Ressourcen im Hinblick auf eine imaginäre Aufgabe mobilisiert werden sollen ("task"). Zum Beispiel soll sich ein Kind vorstellen, dass es auf den Startpfeiff bei einem 100m-Lauf wartet, und sich auf einen möglichst schnellen Start vorbereitet. Dabei würde der Beginn eines

Durchgangs im NF-Training mit der Aufgabe „Negativiere“ dem „auf die Plätze, fertig...“, also dem Warnreiz S1 entsprechen. Das „...los“ oder der Pfiff käme dann am Ende des Durchgangs.

#### **1.4 LP-Training und EEG**

In den bisher durchgeführten Studien zum Training mit langsamen Potenzialen (LP-Training) wurden Veränderungen sowohl im Verhalten als auch in der Aufmerksamkeit festgestellt. Heinrich et al. (2004) berichten eine Verringerung der ADHS-Symptomatik um 25%. In der ADHS-Studie von Strehl et al. (2006) zeigten sich statistisch signifikante Steigerungen im Aufmerksamkeitstest (TAP, Zimmermann & Fimm, 2002) und im Intelligenzquotienten (HAWIK-III, Tewes et al., 1999) sowie Verbesserungen im Verhalten (Eltern- und Lehrerurteil).

Außerdem konnten nach einem LP-Training auf neurophysiologischer Ebene Veränderungen im klassischen CNV-Experiment (Go-/NoGo-Paradigma) festgestellt werden (Heinrich et al., 2004). Dabei wurde eine Vergrößerung der CNV-Amplitude beobachtet, die mit einer Verringerung der Impulsivitätsfehler einherging. Andere ereigniskorrelierte Potenziale, wie die P300 oder die N2, zeigten jedoch keine Veränderungen.

Veränderungen in den Frequenzbändern untersuchten Kotchoubey et al. (1999). Bei 34 Patienten mit therapieresistenter, fokaler Epilepsie konnten im Verlauf eines LP-Trainings Veränderungen im EEG festgestellt werden (Anstieg der Beta-Aktivität, Verminderungen in Delta, Alpha und Beta in Transferbedingungen verglichen mit Feedbackbedingungen). Da aber die LP-Amplituden mit den Frequenz-Daten nur gering korrelierten, wurde angenommen, dass nicht der Erwerb von LP-Kontrolle, sondern unspezifische Veränderungen im Aktivitätszustand des Gehirns zu den Änderungen geführt haben. Da hier nur Daten zur Verfügung standen, die an Cz abgeleitet wurden, ist die Interpretation der Ergebnisse eingeschränkt.

Andere Studien (Alhambra et al., 1995; Monastra et al., 2002) konnten zeigen, dass nach einem Feedbacktraining Veränderungen im EEG erreicht werden können.

## **1.5 EEG und Aufmerksamkeit**

Parameter, die im EEG oft im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit untersucht werden, sind absolute und relative Power im Theta-, Alpha- und Beta-Band (Thatcher, 2005; Marosi et al., 1998), Alpha Peak Frequenz (Clark, 2004; Klimesch, 1997; Klimesch, 1999), Theta/Beta-Quotient (Strehl et al., 2006; Lubar et al., 1995; Monastra et al. 1999; Chabot et al., 1996) und Theta/Alpha-Quotient (Fernandez et al., 2003;). Auf die Bedeutung dieser Parameter wird im Folgenden eingegangen.

### 1.5.1 Die unterschiedlichen EEG Frequenzbänder

Im Spontan-EEG werden verschiedene Frequenzbänder unterschieden (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma), die jeweils mit bestimmten mentalen Zuständen assoziiert werden.

Delta-Wellen weisen eine niedrige Frequenz von 0,3 bis 3,5 Hz auf.

Sie werden vor allem im Tiefschlaf gemessen.

Theta-Wellen (4-8Hz) werden bei Erwachsenen überwiegend im Schlaf oder bei tiefer Entspannung gemessen. Im kindlichen EEG (etwa bis zum 5. Lebensjahr) stellen sie zunächst die vorherrschende Frequenz dar und sind vermutlich mit der Alpha-Aktivität Erwachsener vergleichbar (Lutzenberger et al., 1985; Klimesch, 1999).

Alpha (8-13Hz) wird vor allem bei entspanntem Wachzustand (Augen geschlossen) oder beim Übergang zum Schlaf gemessen und dominiert vor allem über hinteren Kopfregionen (parieto-okzipital) (Lutzenberger et al., 1985). Das Alpha-Band scheint eine entscheidende Rolle bei kognitiver Aktivität, wie zum Beispiel Aufmerksamkeit und Antizipation zu spielen (Klimesch, 1997). Ein hoher Alpha-Wert im Ruhe-EEG korreliert positiv mit kognitiver Leistung (Hanslmayr et al., 2005).

Die Alpha Peak Frequenz spiegelt wahrscheinlich die Geschwindigkeit der thalamo-kortikalen Verarbeitung wider (Klimesch, 1997) und korreliert unter anderem positiv mit der Merkfähigkeit (Klimesch, 1999).

Beta (13-30Hz) wird vor allem frontal und präzentral gemessen und tritt, wie Alpha, im entspannten Wachzustand, aber auch bei mentaler Aktiviertheit, also Aufmerksamkeit, auf (Lutzenberger et al., 1985).

Als Gamma-Welle wird ein Signal im Frequenzbereich über 30 Hz bezeichnet. Gamma wird bei starker Konzentration oder Lernprozessen gemessen.

Untersucht man das EEG von ADHS-Kindern, so fällt auf, dass die schnellen Frequenzen (Alpha, Beta) einen zu niedrigen, die langsamen Frequenzen (v.a. Theta), verglichen mit gleichaltrigen gesunden Kindern, einen zu hohen Anteil haben (Monastra et al., 1999; Mann et al., 1992; Chabot & Serfontein, 1996; Chabot et al., 1996).

Dabei wird der Mangel an Alpha- und vor allem Beta-Aktivität im EEG von ADHS-Kindern mit der verminderten Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht, während das vermehrte Auftreten langsamer Frequenzen häufig als Entwicklungsverzögerung interpretiert wird. Pasamanick und Knoblock (1959; aus Hobbs et al., 2007) deuten diese Unterschiede eher als Abweichen von einer normalen Entwicklung des ZNS, wobei sich das Gehirn bei ADHS Patienten in einem Zustand der Untererregung (Hypoarousal) befindet.

Neben der absoluten ( $\text{Hz}/\mu\text{V}^2$ ) und der relativen Power scheint auch das Verhältnis der einzelnen Frequenzbänder zueinander eine wichtige Rolle für Aufmerksamkeit zu spielen.

Die folgenden beiden Unterkapitel sollen dies verdeutlichen.

### 1.5.2 Der Theta/Beta Quotient

Im Ruhe-EEG gesunder Erwachsener dominieren Alpha und Theta, während sich bei Aktivierung vermehrt Beta-Aktivität findet (Jasper et al., 1958). Lubar (1991) gibt an, dass Kinder mit ADHS in vorangegangenen Studien verminderte Hautleitfähigkeiten aufweisen, was als kortikale Aktivierungsminderung interpretiert wurde (Satterfield et Dawson, 1971; aus Lubar, 1991). Aus diesen beiden Erkenntnissen schloss er, dass Kinder mit ADHS Schwierigkeiten haben Beta zu produzieren und daher einen erhöhten Anteil an Theta-Aktivität besitzen. Mann et al. (1992) konnten dies bestätigen. Seither galt der Theta/Beta-Quotient als guter Marker für verminderte kortikale Erregung (Hypoarousal) und als ein diagnostisches Kriterium bei ADHS.

Wie Monastra et al. (1999) zeigen konnten, lassen sich anhand des Theta/Beta-Quotienten über Cz mit hoher Spezifität und Sensitivität gesunde Kinder von ADHS-Kindern unterscheiden. Wie aus Tabelle 1.1 zu entnehmen ist, zeigen Kinder mit Aufmerksamkeitsproblemen einen höheren Theta/Beta-Quotienten. Außerdem nimmt der Quotient mit zunehmendem Alter ab.

Barry et al. (2004) postulieren, dass der Theta/Beta-Quotient zwar möglicherweise zur Differenzierung von gesunden und ADHS-Kindern herangezogen werden kann, dass er jedoch keine Aussage über den ZNS-Erregungszustand (Arousal) zulässt. Sie führen dies darauf zurück, dass Erregung (Arousal) und Aktivität nicht synonym zu verwenden sind. Demnach reflektiert der Theta/Beta-Quotient am ehesten Aktivierung im Sinne von Aufmerksamkeit, nicht jedoch Erregung (Arousal), welche als globale EEG Veränderung zu messen ist.

Alter	ADHD-I	ADHD-HC	Kontrollgruppe
6-11	8,485	7,698	3,027
12-15	4,494	5,547	2,059
16-20	3,617	4,188	1,999
21-30	2,454	4,125	1,495

Tab. 1.1: Theta/Beta-Quotient in Abhängigkeit von Alter und Subtyp. (aus Monastra et al., 1999)

ADHD-I: Aufmerksamkeits-/Hyperaktivitätssyndrom, unaufmerksamer Typ

ADHD-HC: Aufmerksamkeits-/Hyperaktivitätssyndrom, kombiniert hyperaktiver Typ

Einige NF-Studien konnten nach einem gezielten Theta/Beta-Training eine Verbesserung der Aufmerksamkeit messen (Othmer et al., 1991; Alhambra et al., 1995; Strehl et al., 2006)

### 1.5.3 Der Theta/Alpha Quotient

Während der Reifung des ZNS wird die Theta-Aktivität zunehmend durch Alpha-Aktivität ersetzt (Gasser et al., 1988; aus Hobbs et al., 2007). Der Theta/Alpha-Quotient wird daher oft als Indikator für die ZNS-Reife verwendet (Matousek und Petersen, 1973; aus Hobbs et al., 2007). Magee et al. (2005) ordneten ADHS-Kinder mit einem erhöhten Theta/Alpha-Quotienten dem Subtyp „Reifungsverzögerung“ zu. Hobbs et al. (2007) konnten bei Jugendlichen mit ADHS diesen Subtyp nicht mehr finden. Diese Ergebnisse unterstützen die These der Reifungsverzögerung, sind jedoch nur eingeschränkt beurteilbar, da die Anzahl der Versuchspersonen bei Hobbs et al. (2007) gering war (N=15).

Fernandez et al. (2003) konnten bei Kindern mit einer Lernschwäche einen erhöhten Theta/Alpha-Quotienten messen. Die Autoren deuteten dies ebenfalls als mangelhafte Reifung des EEG. Nach 20 Sitzungen Theta/Alpha-Training konnte eine signifikante Verbesserung im Intelligenzquotienten festgestellt werden.

## **1.6 Selbstregulation der langsamen kortikalen Potentiale bei Kindern mit und ohne Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) (Danzer, 2005)**

Da es sich bei dieser Arbeit unter anderem um eine Replikationsstudie der Arbeit von Danzer (2005) handelt, sollen im folgenden Abschnitt die Fragestellungen, Methoden und Ergebnisse dargestellt werden.

### 1.6.1 Fragestellung

In der Studie von Danzer sollte untersucht werden, ob es einen Unterschied im Lernerfolg und Lernverlauf zwischen Kindern mit und Kindern ohne eine Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung gibt und welche Faktoren (Alter, Geschlecht, IQ) einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

### 1.6.2 Probanden und Methoden

Es wurden insgesamt 24 Kinder im Alter zwischen acht und 13 Jahren am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie in Tübingen untersucht. Dabei handelte es sich um 12 Kinder ohne (Z-Gruppe) und 12 Kinder mit ADHS (Y-Gruppe), die nach Alter, Geschlecht und Intelligenzquotient parallelisiert wurden.

Das Neurofeedbacktraining bestand bei den Z-Kindern aus zehn, bei den Y-Kindern aus 30 Sitzungen mit je vier Blöcken. Ein Block enthielt 38 Aufgaben, auch Durchgänge genannt. Jeder Durchgang dauerte 8 Sekunden. Vier unterschiedliche Aufgaben wurden in randomisierter Abfolge angeboten:

Feedback Negativierung (Neg FB)

Feedback Positivierung (PosFB)

Transfer Negativierung (NegT)

Transfer Positivierung (Post)

Dabei betrug das Verhältnis von Feedback zu Transfer-Aufgaben 3:1.

Die Probanden sollten versuchen, einen Cursor in Form eines Balls auf dem Feedbackmonitor in ein oberes (Negativierung) bzw. ein unteres Tor (Positivierung) zu lenken. Die Position des Balls entsprach der Veränderung des langsamen Potentials gegenüber der Baseline. Bei den Transferaufgaben



erfolgte keine kontinuierliche Rückmeldung. Bei Erfolg erschien am Ende des Durchgangs ein „lachendes Gesicht“ (Smiley) auf dem Bildschirm.

Als Trainingssoftware wurde das TTD (Thought Translation Device, Hinterberger et al., 2001) verwendet.

### 1.6.3 Auswertung

Zur Beurteilung des Lernverlaufes der Z- bzw. der Y-Gruppe wurde die Einflussgröße „Sitzung“ auf statistische Signifikanz überprüft, d.h. es wurde überprüft, ob sich die Potentiale im Laufe der Sitzungen signifikant voneinander unterscheiden. Die Signifikanz bezieht sich auf die beiden Sitzungen mit der größten Potentialdifferenz. Die Mittelwerte der Feedback-Lernkurven sowie die der Transfer-Lernkurven wurden aus der *TTD-Analyse* in Excel-Grafiken übertragen, anhand derer die Beschreibung der Lernverläufe (rein deskriptiv) erfolgte. Mit der Kovarianzanalyse wurde der Einfluss der „Gruppe“ auf die Veränderung der Potentiale betrachtet. Dabei wurden die Mittelwerte der Sitzungen 2 bis 10 von der Y-Gruppe gebildet und auf einen statistisch signifikanten Unterschied mit dem Mittelwert der Sitzungen der Z-Gruppe verglichen. Um zu prüfen ob die Parallelisierungsparameter (Alter, Geschlecht, IQ) einen Einfluss auf den Lernverlauf haben wurden diese in die Kovarianzanalyse mit aufgenommen.

Der Lernerfolg wurde definiert als das gleichzeitige Vorhandensein zweier Bedingungen:

1. Die Veränderung der Mittelwerte der Potentiale aus den ersten beiden Sitzungen zum Mittelwert der letzten beiden Sitzungen muss signifikant sein.
2. Diese Veränderung muss in die richtige Richtung verlaufen, d.h. dass der Mittelwert der letzten beiden Sitzungen bei den Negativierungs-Bedingungen negativer sein muss als der Mittelwert der ersten beiden Sitzungen. Analog dazu muss bei den Positivierungs- und Differenzierungs-Bedingungen der Mittelwert der letzten beiden Sitzungen im Vergleich zum Mittelwert der ersten beiden Sitzungen positiver sein.

Der Lernerfolg wird für zwei qualitativ unterschiedliche Kriterien untersucht. Zum einen äußert sich der Lernerfolg in der Fähigkeit zur Selbstkontrolle über

negative oder positive Potentiale. Die zweite Lernerfolgs-Qualität kommt in der Fähigkeit zur Differenzierung zwischen negativen oder positiven Potentialen zum Ausdruck. Zur Berechnung einer Veränderung der Potentiale über die Zeit wurde von jeder Gruppe der Mittelwert aus den Sitzungen 2 und 3 gebildet und mit dem Mittelwert aus den Sitzungen 9 und 10 verglichen. Die Veränderung der Potentiale wurde wieder mittels Kovarianzanalyse überprüft.

#### 1.6.4 Ergebnisse

Nach zehn Neurofeedbacksitzungen wurden folgende signifikanten Ergebnisse beobachtet:

- Es gibt keinen signifikanten Unterschied im Lernverlauf zwischen der Z- und der Y-Gruppe.
- Das Alter hat keinen Einfluss auf den Lernverlauf.
- Das Geschlecht hat einen signifikanten Einfluss auf die Lernkurven PosFB und NegT: Jungen produzieren negativere Potentiale als Mädchen.
- Der IQ hat einen signifikanten Einfluss auf den Lernverlauf der Kurven. NegFB und NegT: Je höher der IQ, desto größer das Potential.
- In den Bedingungen NegFB, DiffFB und NegT ist ein Lernerfolg gegeben.

Folgende Ergebnisse konnten beobachtet werden, waren jedoch nicht statistisch signifikant:

- Bei beiden Gruppen liegen fast alle registrierten Potentiale im negativen  $\mu$ V-Bereich, d.h. die Aufspaltung erfolgt im negativen  $\mu$ V-Bereich.
- Beide Gruppen können im Transfer nicht zwischen den Aufgaben unterscheiden.
- Die Y-Gruppe schafft es früher und deutlicher zwischen Negativierung und Positivierung zu differenzieren.
- Die Y-Gruppe zeigt kleinere Amplituden ihrer Potentiale.

Danzer stellte aufgrund dieser Ergebnisse die folgenden Hypothesen auf:

- Möglicherweise sind Mädchen im Vergleich zu gleichaltrigen Jungen in ihrer Entwicklung reifer und verfügen über bessere kortikale Hemmfunktionen. Aus diesem Grund fällt es ihnen leichter positivere Potentiale zu produzieren.
- Aufgrund der fehlenden Differenzierung im Transfer stellte Danzer in Frage, ob ein Training der LP mit therapeutischer Zielsetzung im Kindesalter sinnvoll ist, da die Leistung im Transfer eine wichtige Rolle bei der Anwendung im Alltag spielt.
- Die Tatsache, dass die ADHS-Gruppe im Feedback deutlich früher und auch stärker differenzieren konnte als die gesunde Kontrollgruppe erklärte Danzer mit der höheren Motivation der Y-Gruppe.
- Die deutlich kleineren Potentiale der Y-Gruppe könnten einen spezifischen Befund bei ADHS darstellen.

### **1.7 Fragestellungen**

In den vorherigen Kapiteln wurde berichtet, dass NF bei ADHS zu einer Verbesserung des Verhaltens, der Aufmerksamkeit und des Intelligenzquotienten führt.

Außerdem konnte in vorangegangenen Studien nachgewiesen werden, dass ADHS-Kinder, Selbstkontrolle über ihre LP erlangen und ihre kortikalen Ressourcen, gemessen mit der CNV, verbessern können (Strehl et al., 2007; Heinrich et al, 2004).

Es ist bekannt, in welchen spontanen EEG-Komponenten sich ADHS-Kinder von gesunden Kindern unterscheiden. Es stellt sich die Frage, ob sich die Veränderungen im Verhalten und der Aufmerksamkeit der Kinder im Ruhe-EEG widerspiegeln und ob es möglich ist, die auffälligen EEG-Komponenten aktiv durch das Erlangen der Selbstkontrolle zu verändern.

Eine Veränderung einzelner Frequenzbänder und damit der tonischen Aktivität scheint möglich zu sein, wenn diese gezielt trainiert werden. Möglicherweise zeigt sich aber auch eine Veränderung, wenn langsame Potentiale (LP) trainiert

werden, was für eine Verbesserung der phasischen Hirnaktivität sprechen würde (Rumpf, 2006).

Bisher ist sehr wenig über NF bei gesunden Kindern bekannt. Danzer (2005) konnte zeigen, dass gesunde Kinder zwar in der Lage waren Selbstkontrolle über LP zu erlangen, dass sie sich aber in ihrem Lernerfolg und –verlauf nicht wesentlich von ADHS-Kindern unterschieden.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte zum einen geprüft werden, ob sich diese Ergebnisse replizieren lassen. Zum anderen ist bislang nicht bekannt, ob durch ein NF-Training sich bestimmte EEG-Frequenzbänder im EEG verändern.

Folgenden Fragestellungen soll in dieser Arbeit nachgegangen werden:

### Lernverlauf

- I. Wie sieht der Lernverlauf bei gesunden Kindern aus?

### Lernerfolg

- II. Können gesunde Kinder nach zehn Sitzungen Selbstkontrolle über ihre LP erlangen? Können sie zwischen negativen und positiven Potenzialen differenzieren?
- III. Können sie den Erfolg in Transferaufgaben umsetzen?
- IV. Welche Faktoren haben Einfluss auf den Lernerfolg (Alter, IQ, Geschlecht)?

### Lernerfolg und Aufmerksamkeit

- V. Haben zehn Sitzungen NF bei Kindern ohne ADHS Auswirkungen auf die Aufmerksamkeit?
- VI. Verändern zehn Sitzungen NF das EEG?
- VII. Gibt es Unterschiede zwischen Kindern, die zwischen Positivierung und Negativierung differenzieren konnten („Regulierer“) und Kindern, die es nicht konnten („Nicht-Regulierer“)?

## **2. Probanden und Methoden**

### **2.1 Probanden**

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

Damit ein Kind in die Studie aufgenommen werden konnte, mussten folgende Kriterien vollständig erfüllt sein:

- Alter: 8-13 Jahre
- kein Verdacht auf ADHS /ADS
- IQ nicht unter 80.

Die Stichprobe bestand aus 20 Kindern (sechs weiblich) im Alter zwischen 8 und 13 Jahren.

Die Kinder der Studie waren im Durchschnitt 10,8 Jahre alt (StAbw 1,85) und hatten einen mittleren IQ von 118,9 (StAbw 12,1).

### **2.2 Versuchsplan**

Wie aus Tabelle 2.1 zu ersehen, erstreckte sich das Training (10 Sitzungen) über einen Zeitraum von 4 – 6 Wochen, wobei darauf geachtet wurde, dass nie mehr als vier Tage zwischen den einzelnen Sitzungen lagen. Zwei weitere Termine dienten der Vor- bzw. Nachuntersuchung, zur Überprüfung der Selektionskriterien, sowie der Durchführung von EEG und Aufmerksamkeitstest.

Zeitpunkt	Programm	Ziel
1. Termin	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SDQ Kind/Eltern</li> <li>● CFT 20</li> <li>● d2 Aufmerksamkeits-Belastungstest</li> <li>● 19-Kanal EEG 15min geschlossene Augen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Überprüfung der Auswahlkriterien</li> <li>● Normale Intelligenz</li>   <li>● Frequenzanalyse</li> </ul>
2.-11. Termin im Zeitraum von 4-6 Wochen	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 10 Sitzungen 1-Kanal EEG-Feedback . Jede Sitzung besteht aus vier Blöcken à 40 Durchgänge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Training</li> </ul>
12. Termin	<ul style="list-style-type: none"> <li>● d2 Aufmerksamkeits-Belastungstest</li> <li>● 19-Kanal EEG 15min geschlossene Augen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prä-Post Vergleich</li> </ul>

Tab. 2.1: Zeitlicher Ablauf der Studie

SDQ = Strengths and Difficulties Questionnaire; CFT= Cultre Fair Test;

CNV= Kontingente negative Variation

### 2.3 Messinstrumente

Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die verwendeten Tests und Fragebögen.

Die Prä-/Post- Untersuchungen wurden jeweils unter gleichen zeitlichen und örtlichen Bedingungen durchgeführt.

Fragebögen und Tests	
<b>Kinder</b>	SDQ - Kind, (Strengths and Difficulties Questionnaire) Fragebogen zu Stärken und Schwächen {Goodman, 1999}
	CFT20 Intelligenztest Catell-Weiß {Weiß, 1980}
	d2 Aufmerksamkeits-Belastungstest {Brickenkamp, 2002}
<b>Eltern</b>	SDQ - Eltern/Lehrer, Fragebogen zu Stärken und Schwächen {Goodman, 1999}

Tab. 2.2: Verwendete Fragebögen und Tests

### 2.3.1 Strengths and Difficulties Questionnaire (SDQ) {Goodman, 1999}

Mit den SDQ-Fragebögen sollte eine ADHS/ADS-Problematik bei den Probanden ausgeschlossen werden.

Der SDQ zielt darauf ab, Stärken und Schwächen des Kindes anhand von 25 Fragen einzuschätzen. Eltern und Kinder bekommen je einen Fragebogen.

Die Items werden nach fünf Kriterien (Verhaltensprobleme mit Gleichaltrigen, Verhaltensprobleme, emotionale Probleme, Hyperaktivität und prosoziales Verhalten) ausgewertet und anschließend verglichen.

Alle Kinder waren bezüglich sämtlicher Kriterien unauffällig.

### 2.3.2 Culture Fair Intelligence Test 20 (CFT20), {Weiß, 1980}

Der CFT 20 besteht aus zwei gleichartigen Teilen mit je vier Untertests (Reihen fortsetzen, Klassifikationen, Matrizen und topologische Schlussfolgerungen).

Der Test erfasst damit die allgemeine intellektuelle Leistungsfähigkeit („General Fluid Ability“).

Alle Kinder erzielten normale bis überdurchschnittliche Werte.

### 2.3.3 d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test {Brickenkamp, 2002}

Bei dem d2 handelt es sich um einen allgemeinen Leistungstest.

Der Test besteht aus 14 Testzeilen mit jeweils 47 Zeichen die aus der Kombination „d“ und „p“ mit jeweils einem, zwei, drei oder vier Strichen entstanden sind.

Der Proband soll jedes „d“, das mit zwei Strichen versehen ist, durchstreichen. Pro Zeile hat er 20 Sekunden Zeit. Der Test verlangt eine „leistungsbezogene, kontinuierliche und fokussierende Reizselektion, die Fähigkeit eines Individuums sich bestimmten relevanten internen oder externen Reizen selektiv, d.h. unter Abschirmung gegenüber irrelevanten Stimuli, ununterbrochen zuzuwenden und diese schnell und konkret zu analysieren.“(Brickenkamp & Karl, 1986, S.195, in Brickenkamp, 2002, S.6). Dieser Test sollte neben dem EEG zur Überprüfung der Frage dienen, ob das Feedbacktraining Veränderungen in der Aufmerksamkeit hervorruft. Er kann auch nach einer kurzen Zeitspanne wieder eingesetzt werden, da er eine hohe Retest-



Reliabilität ( $r > 0,94$ ) aufweist. Erst nach fünf bis neun Durchgängen soll eine Maximalleistung erbracht werden können.

In die Auswertung wurden der fehlerbereinigte Gesamtmenge (GZ-F) und die Konzentrationsleistung (KL) aufgenommen.

Der GZ-F wird ermittelt, indem die Anzahl aller Fehler (Verwechslungs- und Auslassungsfehler) von der Anzahl der bearbeiteten Zeichen abgezogen wird. Bei der KL subtrahiert man die Verwechslungsfehler von den richtig durchgestrichenen relevanten Zeichen (d mit zwei Strichen).

#### 2.3.4 Elektroenzephalographie (EEG)

Vor dem ersten und nach dem letzten Training wurde ein 19-Kanal EEG abgeleitet (15 min bei geschlossenen Augen).

Die Messungen mit geschlossenen Augen weisen in Studien eine bessere Test-Retest Reliabilität in Bezug auf relative EEG-Werte auf (John et al., 1980; aus Hobbs et al., 2007). Die Messungen sollten dazu dienen, einen entspannten Wachzustand des Gehirns zu messen und damit einen Zustand zu beobachten, der nicht mit dem Lösen einer Aufgabe oder vermehrter Konzentration assoziiert ist.

## **2.4 Das Neurofeedbacktraining**

### 2.4.1 Struktur des Trainings, Setting und technische Ausstattung

Das Training erstreckte sich über einen Zeitraum von etwa vier Wochen und bestand aus zehn Sitzungen. Eine Sitzung dauerte etwa eine Stunde und bestand aus je vier Blöcken. Jeder Block umfasste 40 Durchgänge à acht Sekunden.

Die Kinder wurden für die Messungen in einen reizarmen und lärmisolierten Raum gesetzt, in dem der Feedbackbildschirm und der Verstärker standen. Die Versuchsleiter saßen im Nebenraum und konnten über eine Kamera das Kind beobachten. Eine Gegensprechanlage ermöglichte jederzeit die Kommunikation zwischen Kind und Versuchsleiter.



Einige Kinder kamen mit ihren Geschwistern oder Freunden zum Training, so dass dann parallel Feedbackmessungen stattfanden. In diesen Fällen wurde auf das THERA PRAX® zurückgegriffen.

## (2) Das THERA PRAX®

Das THERA PRAX® besteht aus folgenden Komponenten:

- ein Monitor: wird sowohl als Therapeuten- sowie als Patientenbildschirm verwendet
- 12-kanaliger DC- EEG- und Biosignal-Verstärker
- eine Tastatur zur Dateneingabe.

### 2.4.3 Elektroden

Gemessen werden niederfrequente Signale die nahe bei 0 Hz liegen (DC-Signale, DC= direct current, deutsch: Gleichstrom). Das Hauptproblem besteht darin, dass diese DC-Signale nicht nur im Gehirn des Probanden, sondern auch durch elektrochemische Prozesse an den Grenzflächen Elektrode-Elektrodenpaste und Elektrodenpaste-Haut entstehen. In diesen Fällen treten Elektrodendrifts auf, die das eigentliche Signal durch größere und langsamere DC-Verschiebungen überlagern. Es ist im Offline-Modus nur schwer zwischen diesen beiden Signalen zu unterscheiden, die Messung wird im Extremfall unbrauchbar.

Die Verwendung der richtigen Elektroden, sowie das Anbringen der Elektroden stellen daher einen wichtigen Schritt beim Neurofeedback dar, der nur bei sorgfältiger Beachtung dazu beiträgt, Fehlerquellen zu vermeiden.

Für die Messungen wurden ausschließlich Ag/AgCl-Elektroden benutzt, da diese einen geringeren Drift und eine kleinere Offsetspannung aufweisen als reine Metallelektroden.

Zunächst wurden die Elektroden in 0,9% NaCl-Lösung gelegt um eine elektrische Neutralität herzustellen und damit die Zeit, in der die Elektroden driften, zu verkürzen.

Die Haut des Patienten wurde mit Alkohol und Peelingsand entfettet. Im Anschluss wurden die Ag/AgCl-Ringlektroden mithilfe von Elektrodenklebern

befestigt. Häufig wurde die Elektrode durch ein Tapeplaster fixiert, um das Ablösen während der Messung zu vermeiden. Als Kontaktgel wurde das Elektrodengel Ten20 benutzt.

Der angeschaltete EEG-Verstärker wurde mit der neutralen Ground-Elektrode (NE), welche auf dem rechten Mastoid klebte, verbunden, anschließend wurde eine Referenzelektrode (RefEEG) auf dem linken Mastoid befestigt und eingesteckt, erst danach wurden alle anderen Elektroden gesteckt: eine EEG-Elektrode (Cz), vier EOG-Elektroden (HEOG I,II; VEOG I,II).

Bei den 19-Kanal EEG-Messungen wurde als Hilfe für die Elektrodenanordnung nach dem 10/20 System nach Jasper (1958, vgl. Abb.2) eine EEG-Haube benutzt, die mit denselben Ringelektroden besteckt wurde.

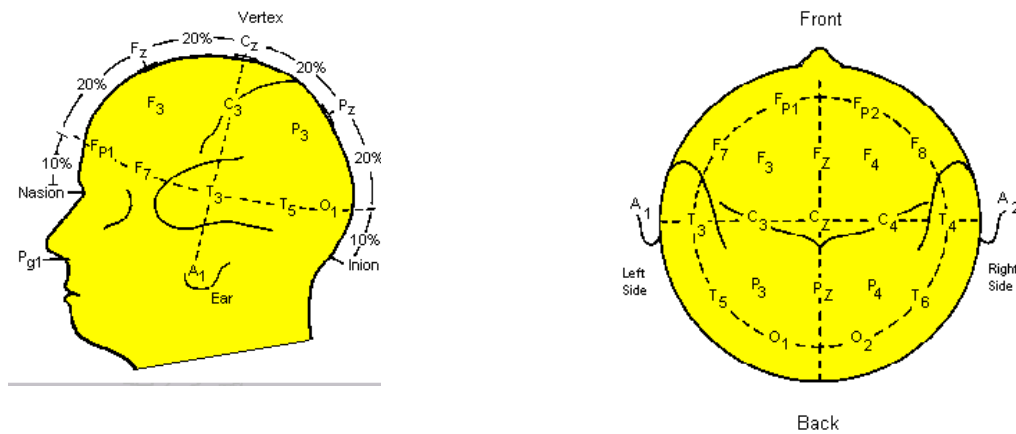


Abb. 2.2: Anordnung der Elektroden nach dem 10/20 System; Jasper (1958)

#### 2.4.4. Aufgaben und Bedingungen

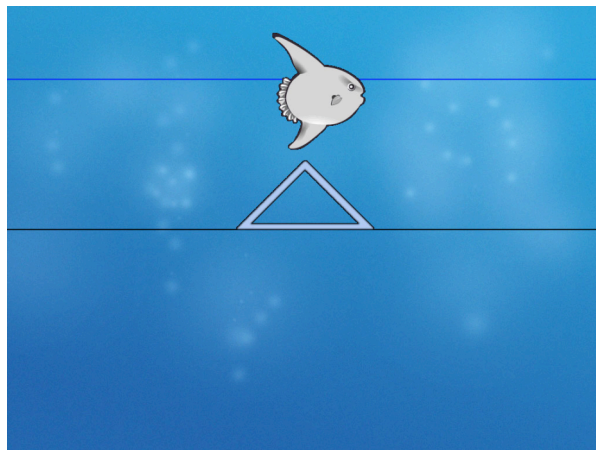
Jeder Trainingsblock bestand aus zwei verschiedenen Aufgaben.

Zum einen sollte eine Absenkung der Erregbarkeitsschwelle (Negativierung, sog. Aktivierungsaufgabe) erlernt werden, zum anderen eine Vergrößerung der Schwelle (Positivierung, sog. Deaktivierungsaufgabe), jeweils bezogen auf die vorhergehende Aktivität (Baseline). In den zwei Sekunden vor jeder Aufgabe wurde die neue Baseline berechnet.

Der jeweilige Aufgabentyp wurde auf dem Patientenbildschirm, in Form eines Richtungspfeils, angezeigt. Bei Aktivierungsaufgaben zeigte der Pfeil in der Bildschirmmitte nach oben, bei Deaktivierungsaufgaben nach unten (vgl. Abb. 2.3).

In den folgenden Abbildungen stellt ein Fisch das Feedbacksignal dar.

Die eingezeichneten  $\mu\text{V}$ -Schwellen (blaue bzw. rote Linie auf Patientenbildschirm) mussten überschritten werden, um die Aufgabe als erfolgreich werten zu können.



**Abb. 2.3:** Bildschirm während einer Negativierungsaufgabe (mit freundlicher Genehmigung der Firma neuroConn)

Beide Aufgaben wurden in zwei unterschiedlichen Bedingungen angeboten, je nachdem ob ein unmittelbares, kontinuierliches Feedback gegeben wurde (FB) oder nicht. Im letzteren Fall handelt es sich um sogenannte Transferaufgaben (TF). Hiermit soll eine Übertragung des Gelernten auf Alltagssituationen erreicht werden, in denen keine externe Rückmeldung zur Verfügung steht. Bei den Feedbackaufgaben wurde dem Probanden seine Hirnaktivität in Form eines Symbols (Feder, Fisch, Flugzeug, Vogel) visuell zurückgemeldet. Dabei bewegte sich das Symbol innerhalb von acht Sekunden von der linken zur rechten Bildschirmseite. Schafft es der Proband während dieser Zeit, seine Hirnaktivität gegenüber der zuvor gemessenen Baseline zu verändern, bewegt sich das Objekt nach oben (Aktivierung) oder nach unten (Deaktivierung).

Bei den Transferaufgaben sieht der Proband lediglich einen Richtungspfeil und erhält keine visuelle Rückmeldung über die Veränderung des Potenzials.

Insgesamt werden beide Aufgaben innerhalb eines Blocks unter beiden Bedingungen zu je gleichen Teilen angeboten (je zehn Durchgänge NegFB, PosFB, NegTF, PosTF).

Ob Durchgänge als erfolgreich eingestuft wurden oder nicht, hing von den eingestellten Schwellen, von Messsignalen und den Bewertungsfenstern ab.

Für Negativierungsdurchgänge lag das Bewertungsfenster in der zweiten Hälfte der Trialdauer (5.-8.sec). Überschritt das Signal in diesem Fenster die eingestellte Schwelle für mindestens zwei Sekunden, galt der Durchgang als erfolgreich. Bei Positivierungstrials lag das Bewertungsfenster im letzten Drittel der Trialdauer (6.-8.sec). Überschritt das Signal innerhalb dieses Zeitfensters die eingestellte Schwelle für mindestens zwei Sekunden, galt der Durchgang als erfolgreich.

Die Schwellwerte beeinflussen wesentlich die Erfolgsquoten. Richtlinien für diese Schwellwerte existieren nicht. In der Studie wurde die erste Sitzung mit den Schwellwerten  $\pm 20\mu\text{V}$  gestartet. Wurde nach einem Block eine Erfolgsquote von mindestens 60% erreicht, wurde die Schwelle um  $5\mu\text{V}$  erhöht. Nach Blöcken, bei denen weniger als 10 % der Aufgaben richtig gelöst wurden, wurde die Schwelle um  $5\mu\text{V}$  erniedrigt. Die darauf folgende Sitzung wurde mit den Schwellwerten des letzten Blocks gestartet.

#### 2.4.5 Belohnung

Nach jedem Durchgang bekam der Proband eine Rückmeldung über den Erfolg der Aufgabe. Bei Überschreiten der eingestellten Schwelle erschien eine Sonne auf dem Feedbackbildschirm (vgl. Abbildung 2.4).



**Abb. 2.4:** Belohnung nach erfolgreichem Durchgang (mit freundlicher Genehmigung der Firma neuroConn)

Die Sonnen wurden nach jeder Sitzung zusammengezählt und dem Kind auf einer Punktekarte gutgeschrieben (zehn Sonnen ergaben einen Punkt). Pro Sitzung konnten maximal 160 Sonnen (4x40) erzielt werden. Die meisten Kinder erzielten gegen Ende des Trainings zwischen 70 und 90 Sonnen pro Trainingssitzung. Am Ende des Trainings erhielten die Kinder eine kleine Belohnung entsprechend der erzielten Punktzahl.

#### 2.4.6 Instruktion

Die Kinder wurden aufgefordert, für die beiden Aufgabentypen Strategien zu entwickeln. Bei den Aktivierungsaufgaben sollten sie an etwas Aufregendes denken (z.B.: Raketenstart, Staffellauf, Torschuss). Bei den Deaktivierungsaufgaben sollten sie versuchen, ihr Gehirn zu „entspannen“ (z.B.: Meeresrauschen, Einschlafen, Faulenzen).

Die Strategien wurden vor jedem Training gemeinsam erarbeitet und während des Trainings besprochen. Die meisten Kinder hatten nach drei oder vier

Sitzungen eine Strategie für sich entwickelt. Einige wenige wechselten die Strategie häufiger.

Neben einer Rückmeldung durch den Computer (Sonne bei Erfolg) erhielten die Kinder während der Messung stets Rückmeldung durch den Versuchsleiter.

Da operantes Lernen eine wichtige Rolle beim Erlangen der Selbstkontrolle spielt, ist auch bei Misserfolgen eine ständige Motivation der Probanden notwendig.

An der Studie waren insgesamt zwei Versuchsleiter beteiligt. Beide Versuchsleiter waren über die Art der Rückmeldung instruiert. Es wurde stets versucht, den Kindern einen Versuchsleiter für das gesamte Training zuzuteilen um optimale Bedingungen für eine gute Zusammenarbeit zu ermöglichen und den Lernerfolg durch identisches Verhalten des Versuchsleiters zu unterstützen.

#### 2.4.7 Artefaktkontrolle

Neben den Artefakten durch Elektrodendrifts können eine Reihe weiterer Faktoren (v.a. Muskelartefakte) die Daten verfälschen.

Die Probanden wurden angeleitet, sich während der Messungen nicht übermäßig zu bewegen oder einzelne Muskelgruppen anzuspannen. Ebenso wichtig war es die Kinder auf eine normale Atmung hinzuweisen.

Viele der Muskelartefakte sind jedoch schwer zu beeinflussen und eine Kontrolle durch den Probanden allein wäre unzuverlässig.

Daher ist eine Artefaktkontrolle durch die Trainingssoftware unerlässlich.

##### *2.4.7.1 Online-Artefaktkontrolle*

Sowohl das NEURO PRAX® als auch das THERA PRAX® verfügen über eine Online-Artefaktkontrolle. Das bedeutet, dass während der Messung Aufgaben verworfen werden, die bestimmte  $\mu\text{V}$ -Grenzen überschreiten.

Man geht davon aus, dass Potenzialänderungen über  $200\mu\text{V}$  keinen Ursprung im Gehirn haben können, weshalb eine Aufgabe unterbrochen wird, sobald diese Grenze überschritten wird. Häufige Ursachen sind Anspannungen der Skelettmuskulatur oder eine sich lösende Elektrode.



Eine zweite große Fehlerquelle stellen die Augenartefakte dar. Hierbei werden die DC-Signale von Artefakten der mimischen Gesichtsmuskulatur überlagert. Zudem verhält sich der Augapfel wie ein Dipol. In Ruhelage liegen die Pole symmetrisch zu den Elektroden, es liegt keine Potenzialdifferenz vor. Bei Blickbewegungen ist das Dipolfeld nicht mehr symmetrisch, es kommt zu Potenzialdifferenzen (Schandry, 1989). Um diese Artefakte zu erkennen, verfügen die Trainingsgeräte über einen EOG-Modus: Vor dem Training werden die Augenbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung, sowie das Öffnen und Schließen der Augen in drei verschiedenen Modi gemessen. Potenziale die diesen gemessenen EOG-Potenzialen entsprechen, werden danach automatisch aus dem EEG herausgemittelt. Das Ziel der Augenkorrektur besteht darin, die durch Augenbewegungen hervorgerufenen Artefakte in den EEG-Signalen zu reduzieren bzw. im Idealfall völlig zu eliminieren, ohne dabei das ursprüngliche EEG-Signal zu beeinträchtigen. Für das DC-EEG-Feedback ist es mit Hilfe der Augenkorrektur möglich, eine bewusste oder unbewusste Fehlsteuerung des Feedbacksignals über Augenbewegungen auszuschließen.

Die Kalibrierung der Augenbewegungen wurde vor jeder Sitzung durchgeführt.

#### *2.4.7.2 Offline-Artefaktkontrolle*

Vor der weiteren Verarbeitung der Rohdaten werden Offline (nach abgeschlossener Messung) weitere Artefakte erkannt und kontrolliert.

Dabei wurde eine visuelle Inspektion durch den Versuchsleiter vorgenommen, bei der Durchgänge mit Artefakten von der weiteren Datenauswertung ausgeschlossen wurden. Als Artefakte galten hierbei überlagerte EOG-Signale die bei der Online-Kontrolle nicht erfasst wurden oder ein linearer Elektrodendrift, der in allen Ableitungen gesehen werden konnte.

## 2.5 Auswertung der Daten

### 2.5.1 Aufbereitung der EEG Daten

Die EEG- und Trainingsdaten wurden zunächst per Hand sortiert.

Dabei wurden aus dem Datenpool Messungen verworfen, die als Testdurchläufe oder als Erklärung für die Probanden gedient hatten, aber keine authentische Datenerhebung darstellten. Außerdem wurden Messungen verworfen, die im Protokoll als fehlerhaft vermerkt waren (Artefakte, schlecht geklebte Elektroden etc.). Die Messungen wurden anschließend nach Messart und Patient sortiert.

Mit Unterstützung der Firma eldith/NeuroConn wurde für die Trainingsdaten folgende Auswertungsmaske erstellt:

- Mittelung der Einzeldurchgänge innerhalb der einzelnen Blöcke (2s Baseline, 8s Trialdauer, nur Sitzungen mit > 35 Durchgängen)
- Baselineberechnung  $F(t=0)=0$
- Tiefpassfilter: 8 Hz unterhalb ALPHA,
- Schwellwertdetektor >200 Mikrovolt in Einzeldurchgängen
- Verwendung der Augenkorrektur, wenn Schwellwertdetektor nicht erreicht
- Mittelwert von 6 bis 7.5 Sekunden nach FB-Start

Die erste Trainingssitzung eines jeden Kindes wurde nicht in die Auswertung einbezogen, da sie lediglich zur Erläuterung der Aufgabe und dem ersten Kontakt der Kinder mit dem Gerät diente.

Von jeder Sitzung wurde ein Mittelwert für die vier Aufgabentypen und die Differenz zwischen den beiden Feedback- und Transferaufgaben berechnet, so dass jedes Kind über sechs Werte pro Sitzung verfügte:

- Negativierung im Feedback (NegFB) und im Transfer (NegTR)
- Positivierung im Feedback (PosFB) und im Transfer (PosTR)
- Differenzierung im Feedback (DiffFB) und im Transfer (DiffTR)

Anschließend wurden die Mittelwerte der Sitzungen S2 und S3 sowie S9 und S10 zusammengefasst und gemittelt.

2.5.2 Auswertung der EEG Daten

Für die Auswertung des EEG wurde die Software NeuroGuide (Thatcher, 2003) verwendet. In dem Programm wurden vom Versuchsleiter artefaktfreie Abschnitte markiert. Das Programm durchsuchte anschließend das EEG nach ähnlichen Abschnitten und führte eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) Analyse durch.

Die 19 Elektrodenpositionen wurden danach drei topographischen Regionen zugeteilt: frontal (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz), zentral (T3, T4, C3, C4, Cz) und posterior (T5, T6, P3, P4, O1, O2, Pz).

Die Werte der einzelnen Elektrodenpositionen wurden jeweils für absolute Power (=Hz/ $\mu\text{V}^2$ ), relative Power sowie Theta/Beta Quotient und Theta/Alpha Quotient pro Region gemittelt. Außerdem wurde die Alpha Peak Frequenz für drei Elektrodenpositionen bestimmt (Cz, O1, O2).

Tabelle 2.3 gibt einen Überblick über die ausgewerteten Elektrodenpositionen:

Absolute Power (Hz/ $\mu\text{V}^2$ ):

<b>Frequenzband (Hz)</b>	<b>Topographie</b>		
Theta (4 – 7,5)	Frontal	Zentral	Parietal
Alpha (8 – 12)	Frontal	Zentral	Parietal
Beta (12,5 – 25)	Frontal	Zentral	Parietal

Relative Power:

<b>Frequenzband (Hz)</b>	<b>Topographie</b>		
Theta (4 – 7,5)	Frontal	Zentral	Parietal
Alpha (8 – 12)	Frontal	Zentral	Parietal
Beta (12,5 – 25)	Frontal	Zentral	Parietal

Power Ratios:

<b>Quotient</b>	<b>Topographie</b>		
Theta/ Beta	Frontal	Zentral	Parietal
Theta/ Alpha	Frontal	Zentral	Parietal

Peak Frequenz (Hz):

<b>Frequenzband (Hz)</b>	<b>Elektrodenposition (10/20 System, Jasper (1958))</b>		
Alpha (8 – 12)	Cz	O1	O2

Tab. 2.3. Überblick über ausgewertete EEG-Werte

### 2.5.3 Statistische Analyse

Die statistischen Analysen der Trainingsdaten wurden im Institut für Medizinische Biometrie Tübingen durchgeführt. Hierfür wurde das Programm „Jump In“, Version 5.1 (SAS Institute hc., Cary, NC 27513) verwendet.

Die Analysen der EEG Daten wurde am Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie mithilfe des Programms SPSS, Version 14 berechnet.

#### *2.5.3.1 Normalverteilung*

Alle Datensätze (FB-, FB+, TR-, TR+, DiffFB, DiffTR) wurden mittels Shapiro-Wilk W Test auf Normalverteilung überprüft. Dabei wurden einzelne Ausreißer identifiziert, aufgrund derer nicht bei allen Daten eine Normalverteilung als gegeben vorausgesetzt werden konnte. Nach Ausschluss der Ausreißer wurde der Test wiederholt, wodurch in der Regel eine Normalverteilung angenommen werden konnte. Da dabei an den p-Werten keine wesentlichen Veränderungen auftraten und weil sich die Normalverteilungskurve auch mit den entsprechenden Ausreißern ausgesprochen symmetrisch darstellte, konnten die Ausreißer in den Datensätzen belassen und eine Normalverteilung angenommen werden.

### 2.5.3.2 *Lernverlauf (Fragestellung I)*

Getrennt für die Bedingungen (Feedback und Transfer) wurden die Mittelwerte über jede Sitzung für alle Kinder ermittelt. Die Lernverläufe werden im Folgenden als Liniendiagramme dargestellt und rein deskriptiv beschrieben. Diese Form der Darstellung ist zwar statistisch nicht korrekt, da es sich um diskrete Größen handelt, dennoch wurde diese Darstellung gewählt um den Lernverlauf besser nachvollziehen zu können. Um den Lernverlauf zu veranschaulichen wurden die Sitzungen S2 und S3, sowie die Sitzungen S9 und S10 gemittelt und miteinander verglichen. Es wurden die unterschiedlichen Aufgabentypen (Positivierung, Negativierung) und Bedingungen (Feedback, Transfer), sowie die Differenz zwischen Positivierung und Negativierung untersucht.

### 2.5.3.3 *Lernerfolg (Fragestellungen II – IV)*

Beim Lernerfolg sollte geprüft werden, ob gesunde Kinder innerhalb von zehn Sitzungen Selbstkontrolle über ihre LP erwerben können.

Hierbei wurde der Lernverlauf nicht berücksichtigt. Bei den gemessenen  $\mu\text{V}$ -Werten handelt es sich um die Differenz zur zuvor gemessenen Baseline, also relative Werte. Da der absolute Wert der Baseline nicht gemessen wurde, ist nicht bekannt, ob sich die Baseline während des Trainings verändert hatte.

„Lernerfolg“ wurde daher wie folgt definiert:

- 1) Selbstkontrolle wurde erlangt, wenn in Sitzung S9 und S10 eine deutliche Aufspaltung in die richtige Richtung erfolgt. Hierfür erfolgte zunächst eine visuelle Inspektion der Verlaufskurven.
- 2) Die Differenz zwischen den Amplituden der Negativierungs- und Positivierungsaufgaben muss mindestens  $5 \mu\text{V}$  betragen. Hierfür wurde der Mittelwert S9 +S10 für Positivierung von dem Mittelwert S9+S10 für Negativierung subtrahiert (DiffNegPos). Ein positiver Wert über  $5 \mu\text{V}$  zeigt eine Aufspaltung in die richtige Richtung an.

Wurden beide Kriterien erfüllt, so wurde der Proband der Gruppe der „Regulierer“ zugeteilt. Der Lernerfolg wurde für beide Bedingungen (FB, TR) getrennt bestimmt.

Um den Einfluß von Alter, Geschlecht und IQ auf den Lernerfolg festzustellen, wurde eine Kovarianzanalyse mit der Differenz zwischen Positivierung und Negativierung (DiffNegPos) berechnet.

#### *2.5.3.4 Einfluss des Trainings auf die Aufmerksamkeit (Fragestellung V)*

Die Aufmerksamkeit wurde anhand der fehlerbereinigten Gesamtmenge (GZ-F) und der Konzentrationsleistung (KL) im d2 Test vor und nach dem Training gemessen. Zur Beurteilung der Veränderungen wurde ein paired-samples T-Test durchgeführt.

#### *2.5.3.5 Einfluss des Trainings auf das Elektroenzephalogramm (EEG) (Fragestellungen VI und VII)*

Die Werte aus dem EEG wurden mithilfe des Wilcoxon Signed Rank t-Tests auf Signifikanz geprüft.

Anschließend wurde eine Pearson Korrelation und eine Kovarianzanalyse mithilfe des Mann-Whitney Test durchgeführt.

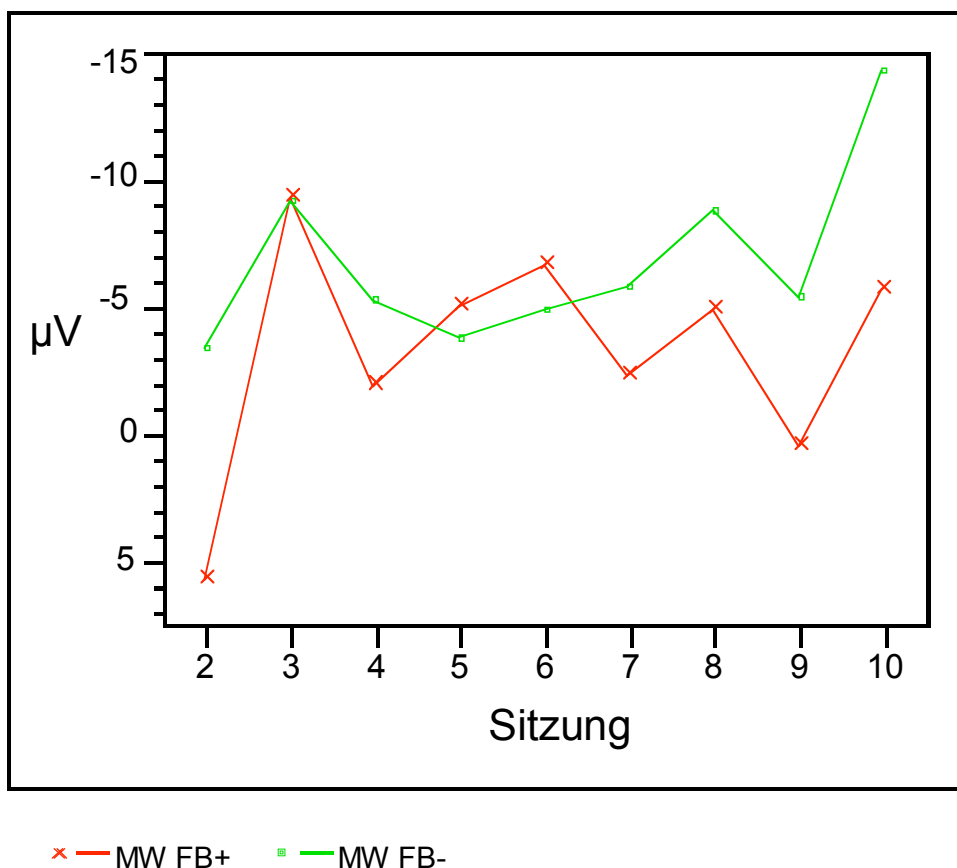
### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Lernverlauf der gesamten Gruppe

##### 3.1.1 Feedback-Bedingung

Im Folgenden wird der Lernverlauf rein deskriptiv dargestellt.

Abb. 3.1 zeigt den Verlauf der gemittelten Potenziale aller 20 Kinder über die Sitzungen S2 bis S10 für die beiden Feedbackaufgaben FB+ und FB-. Dabei werden die Kurve für die Negativierungsaufgaben(FB-) grün und für Positivierungsaufgabe (FB+) rot dargestellt.



**Abb. 3.1.:** Lernkurve der gesamten Gruppe im Feedback; MW=Mittelwert

Die Negativierungen liegen zu Beginn des Trainings bereits im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich (FB-[S2] =  $-3,44\mu\text{V}$ ), das Ausmaß der Negativierung ist jedoch am Ende des Trainings deutlich gesteigert (FB- [S10] =  $-14,28\mu\text{V}$ ).

Die Positivierungskurve befindet sich zu Beginn des Trainings im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich ( $\text{FB+ [S2]} = 5,68\mu\text{V}$ ), jedoch ist der Verlauf deutlich ungerichteter als der Verlauf der Negativierungskurve. Am Ende des Trainings befindet sich die Positivierungskurve unterhalb der Negativierungskurve aber dennoch im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich ( $\text{FB+ [S10]} = -5,68\mu\text{V}$ ).

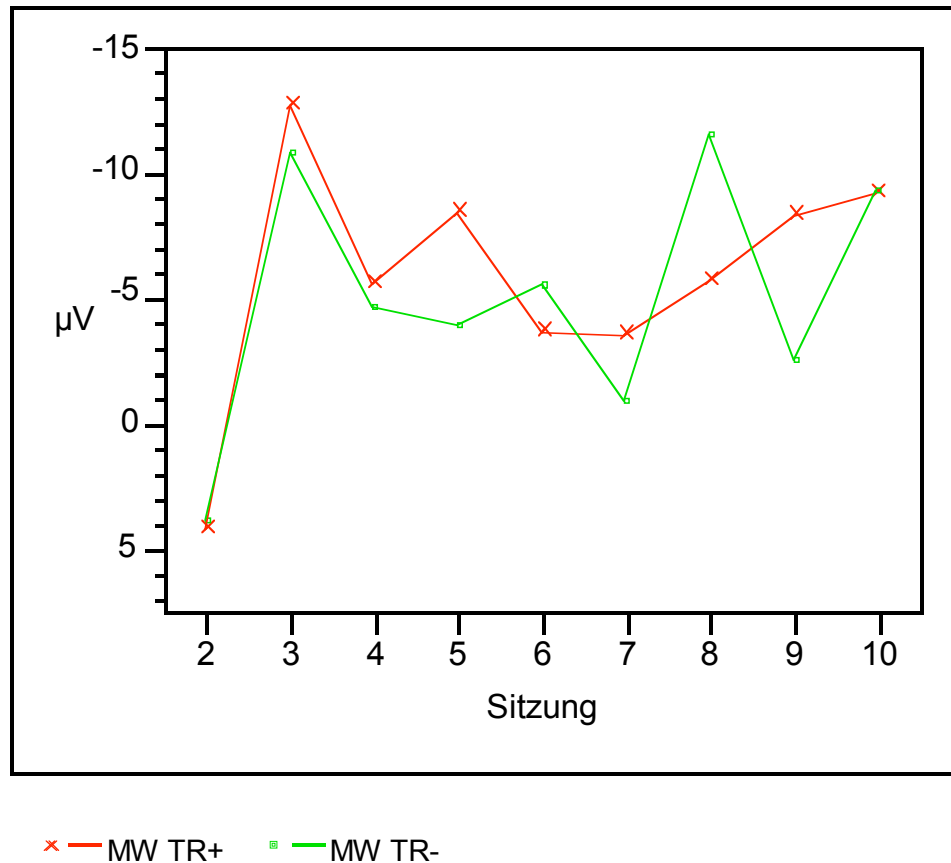
Eine Aufspaltung ist bereits in Sitzung S2 vorhanden. Diese geht in den darauffolgenden Sitzungen verloren und die beiden Aufgabentypen werden vertauscht (vgl. S5, S6). Erst ab der 7. Sitzung ist erneut eine deutliche Aufspaltung der beiden Kurven ( $\text{Diff PosNeg [S7]} = 3,53\mu\text{V}$ ) in die richtige Richtung zu beobachten, die gegen Ende des Trainings zunimmt und eine Differenz von  $8,60\mu\text{V}$  ( $\text{Diff PosNeg [S10]}$ ) erreicht.

Aufgrund der großen Streuung der einzelnen Werte konnte keine Regressionsgerade erstellt werden.



### 3.1.2 Transfer-Bedingung

Abbildung 3.2 zeigt den Lernverlauf aller Probanden unter der Transferbedingung (kein Feedbacksignal).



**Abb. 3.2.:** Lernkurve der gesamten Gruppe im Transfer

Die Negativierungskurve ist zu Beginn des Trainings im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich (TR- [S2] =  $3,78\mu\text{V}$ ). Die  $\mu\text{V}$ -Werte unterscheiden sich stark von Sitzung zu Sitzung von  $3,8$  bis  $-11\mu\text{V}$ . Am Ende des Trainings ist die Kurve deutlich im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich (TR- [S10] =  $-9,36\mu\text{V}$ ).

Die Positivierungskurve verläuft zu Beginn des Trainings (S2-S4) fast parallel zur Negativierungskurve (TR+ [S2] =  $4,22\mu\text{V}$ ; TR- [S2] =  $3,78\mu\text{V}$ ). Bis S6 schwankt sie stark zwischen  $4$  bis  $-12\mu\text{V}$ , danach steigt sie kontinuierlich und ist in Sitzung S10 im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich (TR+ [S10] =  $-9,17\mu\text{V}$ ), fast gleich wie in der Negativierungsaufgabe.

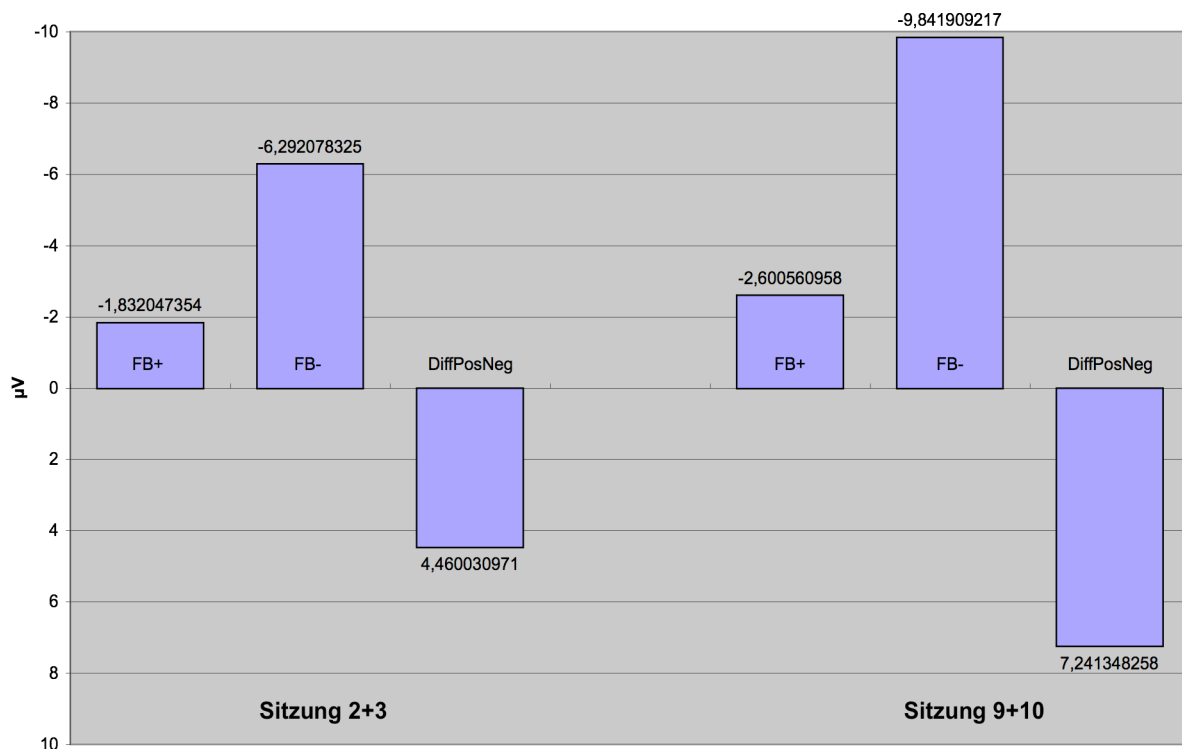
Aufspaltungen sind häufig zu beobachten, jedoch meist in die falsche Richtung (vgl. S5, S7, S9). Es ist keine kontinuierliche Entwicklung zu beobachten.

Wie bei den Feedbackaufgaben ist auch hier die Streuung zu groß um eine Regressionsgerade darzustellen.

### 3.2 Lernerfolg (Vergleich der Sitzungen 2+3 mit den Sitzungen 9+10)

#### 3.2.1 Feedback-Bedingung

In Abbildung 3.3 sind die MW der Feedbacksitzungen 2+3 sowie 9+10 für beide Aufgaben (FB+, FB-) und für die Differenz zwischen Positivierungs- und Negativierungsaufgaben (DiffPosNeg) dargestellt.



**Abb.3.3:** Mittelwerte für Feedbackaufgaben der Sitzungen 2+3 und 9+10 im Vergleich

Bei den Negativierungsaufgaben befinden sich die Amplituden bereits zu Beginn (Sitzung 2+3) des Trainings im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich ( $-6,29\mu\text{V}$ ). Diese Negativierung ist am Ende des Trainings (Sitzung 9+10) noch stärker ausgeprägt ( $-9,84\mu\text{V}$ ).

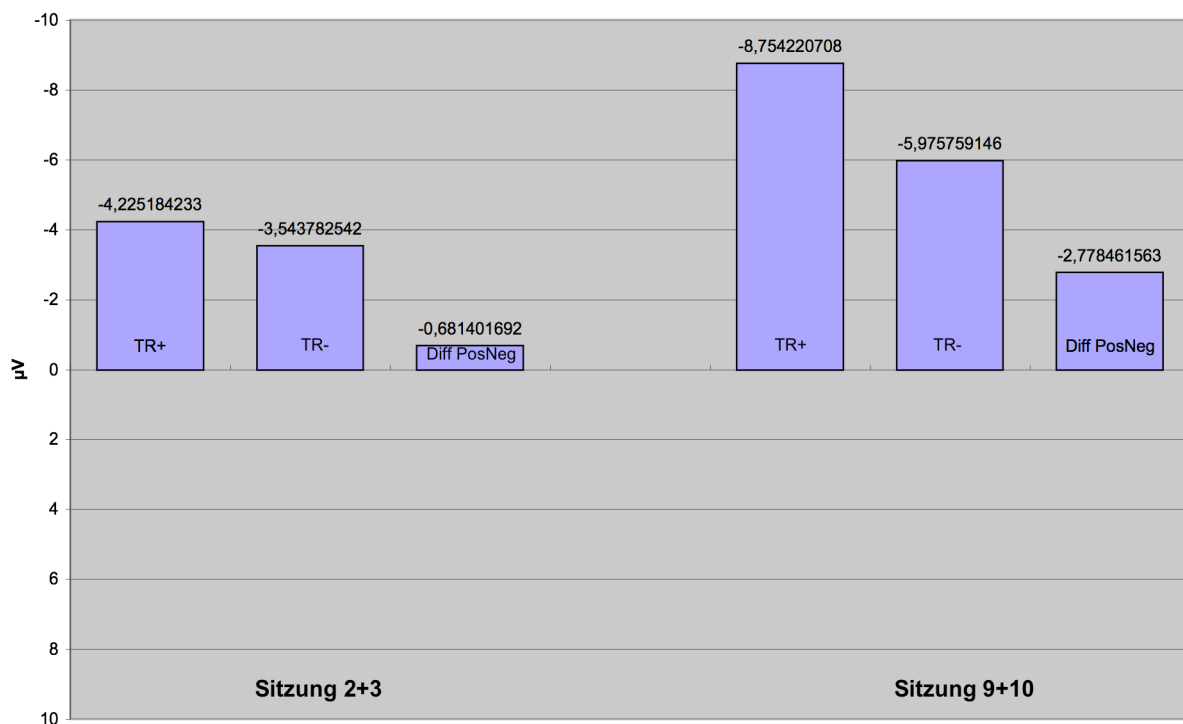
Die Positivierungsaufgaben werden zu Beginn ( $-1,83\mu\text{V}$ ) und auch am Ende des Trainings ( $-2,60\mu\text{V}$ ) im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich angesiedelt. Jedoch bleiben die Amplituden unterhalb denen, die bei den Negativierungsaufgaben produziert werden. Am Ende des Trainings sind diese Negativierungen noch größer geworden.

Gleichwohl ist eine deutliche Differenzierung (DiffPosNeg) zu Beginn zu sehen ( $4,46\mu\text{V}$ ), die in die richtige Richtung weist und am Ende des Trainings stärker ausgeprägt ist ( $7,24\mu\text{V}$ ). Die Zunahme der Differenzierungsfähigkeit ist nicht signifikant (MW = 2,78; StAbw = 21,23;  $p = 0,565$ ).

### 3.2.2 Transfer-Bedingung

Sowohl zu Beginn als auch am Ende des Trainings ist die Amplitude bei den Positivierungsaufgaben etwas negativer als bei den Negativierungsaufgaben.

Die Differenzierung erfolgt zu beiden Zeitpunkten in die falsche Richtung (negative DiffPosNeg Werte) Die Differenzierung war jedoch gegen Ende des Trainings ausgeprägter (MW = 2,10; StAbw = 24,15 ;  $p = 0,702$ ).

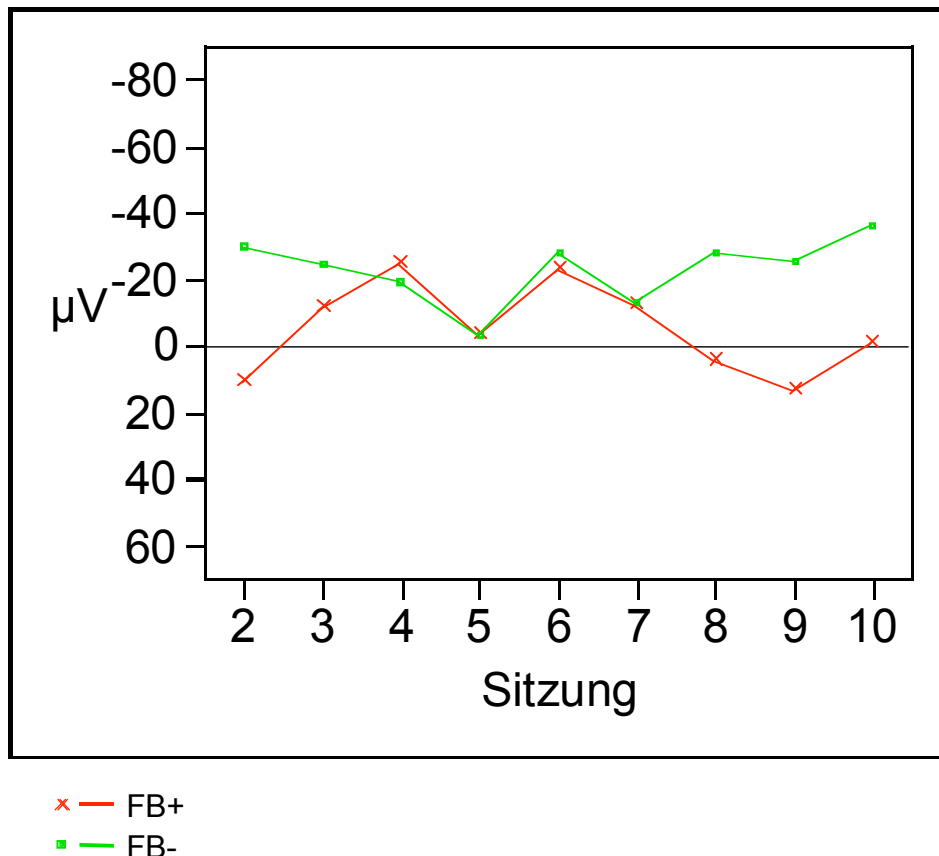


**Abb.3.4:** Mittelwerte für Transferaufgaben der Sitzungen 2+3 und 9+10 im Vergleich

### 3.3 Beschreibungen einzelner Lernverläufe

In diesem Abschnitt sollen zwei individuelle Lernverläufe exemplarisch beschrieben werden. Dabei soll die Einteilung der Kinder in Regulierer und Nicht-Regulierer veranschaulicht werden.

#### 3.3.1 Ein Regulierer-Lernverlauf am Beispiel E13 (Feedback)



**Abb.3.5:** Lernverlauf E13

Bei E13 ist bereits bei Sitzung S2 eine Aufspaltung zwischen Positivierungs- und Negativierungsaufgaben zu beobachten (vgl. Abb. 3.1.: Lernverlauf der gesamten Gruppe).

Beide Kurven verlaufen ab Sitzung S3 im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich und sind von Sitzung S4 bis Sitzung S7 fast identisch.

Ab Sitzung S8 findet eine kontinuierliche Aufspaltung in die richtige Richtung statt (DiffPosNeg [S9] =  $38,83\mu\text{V}$ ). Die Positivierungskurve ist dabei teilweise sogar im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich (FB+[S9] =  $13,40\mu\text{V}$ ).

Tab.3.1 gibt eine Übersicht über die Werte der Sitzungen 2+3 im Vergleich mit den Werten der Sitzungen 9+10.

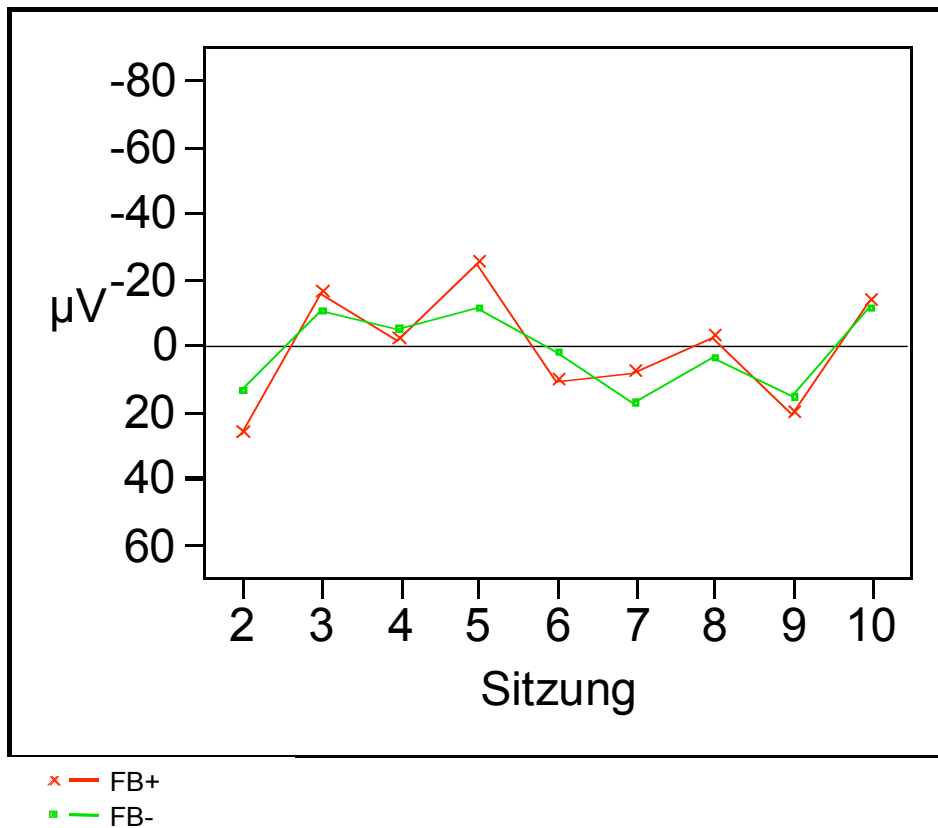
Sie veranschaulicht, dass die Potenziale der Sitzungen 9+10 negativer für die Negativierungsaufgabe und positiver für die Positivierungsaufgabe im Vergleich zu den Sitzungen 2+3 geworden sind.

Die Differenz zwischen Positivierung und Negativierung hat zugenommen.

	<b>Sitzung 2+3</b>	<b>Sitzung 9+10</b>
<b>MW FB+</b>	-0,34 $\mu$ V (StAbw=15,7 $\mu$ V)	6,5 $\mu$ V (StAbw=9,8 $\mu$ V)
<b>MW FB-</b>	-27,4 $\mu$ V (StAbw=3,6 $\mu$ V)	-31,1 $\mu$ V (StAbw=7,9 $\mu$ V)
<b>MW DiffPosNeg</b>	27,1 $\mu$ V	37,6 $\mu$ V

**Tab. 3.1:** Mittelwerte E13

### 3.3.2. Ein Nicht-Regulierer - Lernverlauf am Beispiel E01 (Feedback)



**Abb.3.6:** Lernverlauf E01

Beide Kurven verlaufen weitestgehend parallel.

Eine Aufspaltung ist höchstens bei Sitzung S5 gegeben. Allerdings spaltet der Proband in die falsche Richtung auf ( $\text{DiffPosNeg [S5]} = -12,97\mu\text{V}$ ).

Sowohl die Kurve für die Negativierungsaufgaben als auch für die Positivierungsaufgaben schwanken zwischen positivem und negativem  $\mu\text{V}$ -Werten.

Dies wird in Tabelle 3.2 verdeutlicht. Im Vergleich zu E13 findet keine Veränderung zwischen den Sitzungen 2+3 und den Sitzungen 9+10 statt. Auch eine Aufspaltung ( $\text{DiffPosNeg}$ ) ist nicht zu beobachten.

	<b>Sitzung 2+3</b>	<b>Sitzung 9+10</b>
<b>MW FB+</b>	5,5 $\mu$ V (StAbw=29,9 $\mu$ V)	3,8 $\mu$ V (StAbw=23,7 $\mu$ V)
<b>MW FB-</b>	1,8 $\mu$ V (StAbw=17,2 $\mu$ V)	1,8 $\mu$ V (StAbw=19,1 $\mu$ V)
<b>MW DiffPosNeg</b>	3,7 $\mu$ V	1,9 $\mu$ V

Tab. 3.2: Mittelwerte E01

### 3.4 Überblick über Regulierer und Nicht-Regulierer

#### 3.4.1 Feedback-Bedingung

Tabelle 3.3 veranschaulicht die Unterschiede zwischen Regulierern und Nicht-Regulierern. Dabei wird deutlich, dass es etwa die Hälfte der Kinder geschafft haben, am Ende des Trainings im Feedback positive und negative Potenzialveränderungen vorzunehmen. Die Regulierer sind etwas jünger und haben 8 Punkte mehr im IQ-Test ( $p=0,157$ ).

	<b>Regulierer</b>	<b>Nicht-Regulierer</b>
<b>Anzahl (N)</b>	N = 11 (7m, 4w)	N= 9 (7m, 2w)
<b>Alter (Jahre)</b>	10,6 (StAbw = 2,1)	11,4 (StAbw = 1,5)
<b>IQ</b>	122,3 (StAbw = 12,6)	114,5 (StAbw = 10,5)

Tab. 3.3: Statistik Regulierer und Nicht-Regulierer im Feedback

#### 3.4.2 Transfer-Bedingung

Tabelle 3.4 zeigt die Unterschiede zwischen Regulierern und Nicht-Regulierern unter der Transfer-Bedingung. Im Vergleich zur Feedback-Bedingung sind weniger Kinder in der Lage, am Ende des Trainings zwischen Positivierung und Negativierung zu unterscheiden.

	<b>Regulierer</b>	<b>Nicht-Regulierer</b>
<b>Anzahl (N)</b>	N = 8 (6m, 2w)	N= 12 (8m, 4w)
<b>Alter (Jahre)</b>	11,3 (StAbw = 2,2)	10,7 (StAbw = 1,7)
<b>IQ</b>	126,8 (StAbw = 12,1)	113,5 (StAbw = 9,3)

Tab. 3.4: Statistik Regulierer und Nicht-Regulierer im Transfer



Diesmal sind die Regulierer etwas älter als die Nicht-Regulierer und sie erzielen im Schnitt 13 Punkte mehr im IQ Test ( $p=0,114$ ).

Fünf Kinder schafften es in beiden Bedingungen Kontrolle über ihre LP zu erlangen und zwischen Positivierungs- und Negativierungsaufgaben zu unterscheiden (2w, 3m; durchschnittl. Alter: 11,5 J; durchschnittl. IQ: 129,4).

### 3.5 Kovarianzanalyse der Trainingsdaten

Bei der Kovarianzanalyse wurde der Einfluss von Alter, Geschlecht und IQ auf die Trainingsdaten untersucht. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Ein höherer IQ korreliert positiv mit der Fähigkeit sowohl in der Feedback- ( $r(20) = 0,429$ ;  $p = 0,0017$ ) als auch in der Transferbedingung ( $r(20) = 0,105$ ;  $p = 0,0106$ ) zu negativieren. Alter und Geschlecht spielen bei der Fähigkeit zu negativieren keine Rolle

Auf die Positivierungsaufgaben (FB+, TR+) hat keine der Variablen einen signifikanten Einfluss.

Ein höherer IQ korreliert positiv mit der  $\mu$ V-Differenz zwischen der 9. und 10. und der 2. und 3. Sitzung der Negativierungsaufgaben (FB-, TR-) in der Feedback- ( $r(20) = 0,444$ ;  $p = 0,0028$ ) und der Transferbedingung ( $r(20) = 0,378$ ;  $p = 0,0091$ ). Das heißt mit hohem IQ steigt die Differenz zwischen den ersten beiden und den letzten beiden Sitzungen, also der Lernerfolg.

Die anderen beiden Variablen (Alter, Geschlecht) haben keinen signifikanten Einfluss auf die Differenz zwischen den ersten und letzten Sitzungen.

Erneut gibt es keine Korrelationen der Variablen (IQ, Alter, Geschlecht) mit den Positivierungsaufgaben (FB+, TR+).

### 3.6 d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test

Vor und nach dem Training wurde mit den Probanden jeweils der d2-Test zur Erfassung der Aufmerksamkeit durchgeführt. Tabelle 3.5 zeigt die gemittelten Ergebnisse.

	Vor dem Training	Nach dem Training
<b>Gesamtleistung (GZ-F)</b>	100,7 (StAbw = 13,37)	109,2 (StAbw = 10,91)
<b>Konzentrationsleistung (KL)</b>	107,1 (StAbw = 10,37)	113,3 (StAbw = 9,28)

**Tab.3.5:** Überblick über Gesamt- und Konzentrationsleistung im d2 Test

Sowohl die fehlerbereinigte Gesamtmenge (GZ-F) als auch die Konzentrationsleistung (KL) sind nach dem Training signifikant besser.

Dabei nahm der GZ-F im Mittel um 8,45 Punkte (StAbw = 6,39) zu, mit einem  $p < 0,01$ .

Die KL war im Mittel um 6,2 Punkte (StAbw = 5,78) größer ( $p < 0,01$ ).

### 3.7 EEG-Daten

Tabelle 3.6 zeigt die Ergebnisse eines Paired Samples t-Tests der EEG-Werte vor und nach dem Training. Die Werte mit einem  $p < 0,05$  wurden farbig unterlegt. Signifikante Veränderungen zeigten sich bei folgenden Frequenzen und Elektrodenpositionen:

Eine Abnahme im absoluten Betaband frontal (MW =  $-8,11\mu\text{V}$ ; StAbw = 19,02 ;  $p = 0,04$ ) und posterior (MW =  $-8,43\mu\text{V}$ ; StAbw = 18,38;  $p = 0,01$ ).

Eine Abnahme im relativen Betaband

- frontal (MW =  $-2,6\mu\text{V}$ ; StAbw = 4,77;  $p = 0,02$ ),
- zentral (MW =  $-2,51\mu\text{V}$ ; StAbw = 4,66;  $p = 0,04$ )
- posterior (MW =  $-2,26\mu\text{V}$ ; StAbw = 4,21;  $p = 0,004$ ).

Eine Abnahme der Alpha peak-Frequenz an Cz (MW =  $-0,05\mu\text{V}$ ; StAbw = 0,21;  $p = 0,04$ )

	Absolutes Theta				Absolutes Alpha				Absolutes Beta			
	Med	MW	StA	p	Med	MW	StA	p	Med	MW	StA	p
<b>F</b>	-0,56	-3,40	9,61	0,18	0,64	-3,16	11,63	0,84	-0,79	-8,11	19,02	0,04
<b>Z</b>	-1,30	-3,89	9,47	0,13	-1,24	-5,21	14,76	0,39	-0,27	-8,83	20,97	0,12
<b>P</b>	-2,53	-4,42	10,65	0,14	2,30	-3,54	37,76	0,65	-2,82	-8,43	18,38	0,01

	Relatives Theta				Relatives Alpha				Relatives Beta			
	Med	MW	StA	p	Med	MW	StA	p	Med	MW	StA	p
<b>F</b>	-0,24	1,12	3,30	0,37	1,69	1,41	7,39	0,10	-0,97	-2,60	4,77	0,02
<b>Z</b>	0,16	1,36	4,76	0,50	0,63	1,25	8,91	0,37	-0,85	-2,51	4,66	0,04
<b>P</b>	-0,50	0,78	4,82	0,81	3,14	3,07	12,97	0,08	-1,21	-2,26	4,21	0,04

	Theta /Alpha				Theta / Beta			
	Med	MW	StA	p	Med	MW	StA	p
<b>F</b>	-0,08	0,02	0,45	0,50	0,14	0,32	0,61	0,08
<b>Z</b>	0,04	0,02	0,34	0,67	0,13	0,33	0,74	0,15
<b>P</b>	-0,05	-0,03	0,36	0,26	0,05	0,26	0,70	0,23

	Peak Frequenz Alpha			
	Med	MW	StA	p
<b>Cz</b>	-0,05	-0,05	0,21	0,04
<b>O1</b>	0,03	0,06	0,27	0,36
<b>O2</b>	0,07	0,05	0,26	0,37

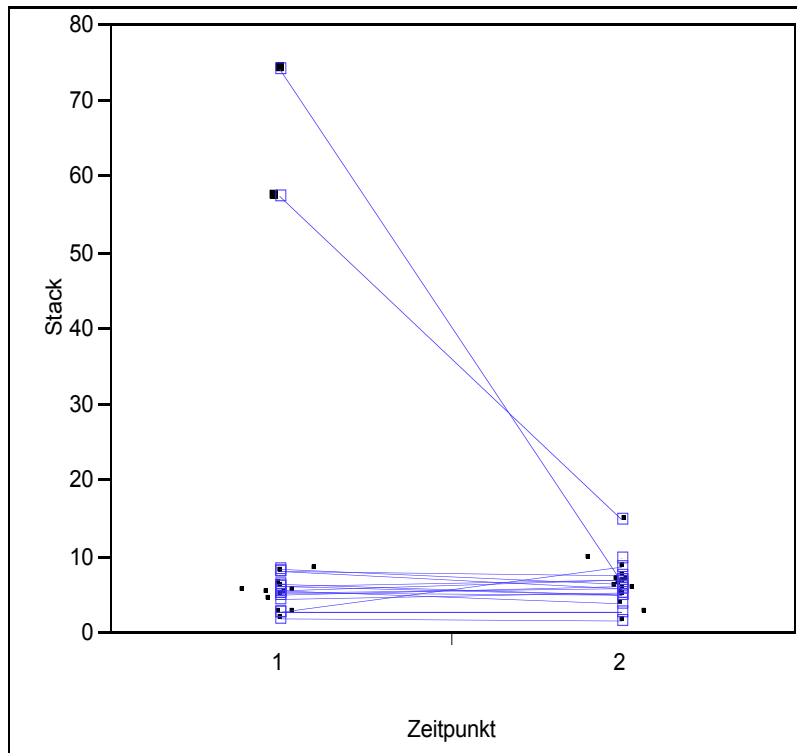
**Tab. 3.6:** Auswertung EEG Werte

Einheiten: Absolute Power (AP) =  $\mu V^2/ Hz$ , Peak Frequenz = Hz;

Zeichenerklärung: Med=Median, MW=Mittelwert, StA=Standardabweichung, p=pWert, F=frontal, Z=zentral, P=posterior

Bei der Betrachtung der graphischen Darstellung der Veränderungen im EEG für jeden einzelnen Probanden, fällt auf, dass sich stets zwei Probanden im ersten EEG mit ihren Werten stark von den übrigen Kindern unterscheiden.

Dies soll anhand eines Beispiels in Abbildung 3.7 veranschaulicht werden.



**Abb. 3.7:** graphische Darstellung der EEG Veränderungen für die einzelnen Probanden am Beispiel Absolute Power an der Elektrodenposition Fz  
Zeitpunkt 1 = vorher, Zeitpunkt 2 = nachher

Diese beiden Ausreißer wurden als E09 (männlich, 9J 3Mo, IQ 96) und E16 (weiblich, 10J 8Mo, IQ 127) identifiziert und in einem zweiten t-Test nicht berücksichtigt. Dabei ergaben sich folgende Veränderungen:

Eine Abnahme im absoluten Betaband ist nach wie vor zu beobachten. Diese ist jedoch nur in den posterioren Ableitungen signifikant.

- frontal: MW =  $-2,50\mu\text{V}$ ; StAbw = 7,97;  $p = 0,201$ )
- posterior (MW =  $-3,99\mu\text{V}$ ; StAbw = 7,97;  $p = 0,049$ ).

Alle Abnahmen im relativen Betaband sind nicht signifikant

- frontal (MW =  $-1,38 \mu\text{V}$ ; StAbw = 3,04;  $p = 0,071$ ),
- zentral (MW =  $-1,379 \mu\text{V}$ ; StAbw = 3,18;  $p = 0,084$ )
- posterior ( MW =  $-1,64 \mu\text{V}$ ; StAbw = 3,95;  $p = 0,097$ ).

Auch die Abnahme der Alpha Peak Frequenz an der Elektrodenposition Cz, ist nicht mehr signifikant. (MW =  $-0,012 \mu\text{V}$ ; StAbw = 0,16;  $p = 0,758$ ).

Betrachtet man die Daten der Probanden im Einzelnen, so fällt auf, dass bei insgesamt acht von 18 Kindern Beta frontal zunimmt. Auch zentral (7/18) und posterior (6/18) sind bei einer Reihe von Kindern Zunahmen im Betaband zu beobachten.

### **3.8 Kovarianzanalyse der EEG Daten**

In der Kovarianzanalyse wurde der Einfluss von IQ, Alter, Geschlecht und Lernerfolg auf die Veränderungen im EEG untersucht. Auch hier wurden die beiden Ausreißer nicht berücksichtigt.

Für keine dieser vier Variablen konnte ein signifikanter Zusammenhang mit Veränderungen im EEG gezeigt werden.

## 4. Diskussion

### 4.1 Lernverlauf (Fragestellung I)

#### 4.1.1 Lernverlauf der gesamten Gruppe im Feedback

Bei den Negativierungsaufgaben waren die Kinder bereits zu Beginn des Trainings in der Lage, negative Potenziale zu erzeugen. Sie konnten die Negativierung während des Trainings aufrechterhalten und das Ausmaß noch vergrößern.

Die Positivierungsaufgaben waren zu Beginn im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich angesiedelt. Im Verlauf erschienen sie ungerichteter und lagen gegen Ende des Trainings wie die Negativierungsaufgaben im negativen Bereich. Allerdings wurde die Unterscheidung zwischen den beiden Aufgaben, d.h. die Differenz zwischen Positivierungs- und Negativierungsaufgaben, größer.

**Den Kindern ist es also gelungen, Kontrolle über negative LP zu erlangen und diese LP von den Positivierungsaufgaben zu unterscheiden.** Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Studien überein, in denen gezeigt werden konnte, dass Kinder in der Lage sind, Kontrolle über LP zu erlangen und zwischen den beiden Aufgabentypen zu unterscheiden (Strehl et al., 2007; Drechsler et al., 2007).

Da in der vorliegenden Studie die Ergebnisse von Danzer (2005) repliziert werden sollten, wird im Folgenden eine Gegenüberstellung (Tabelle 4.1) der beiden Studien besprochen. Danzer (2005) hatte ebenfalls ein zehnstündiges LP-Training mit gesunden Kindern durchgeführt.

	Feedback	
	Danzer (2005), Z-Kinder	Aktuelle Studie, E-Kinder
<b>Positivierungen</b>	positiver als Negativierungen, aber im negativen $\mu\text{V}$ -Bereich	positiver als Negativierungen, aber im negativen $\mu\text{V}$ -Bereich
<b>Aufspaltung</b>	anfangs falsch korrekt in S9 und S10	anfangs richtig korrekt ab S7
<b>Differenzierung</b>	Maximum bei $3\mu\text{V}$	Maximum bei $8,60\mu\text{V}$
<b>Registrierte Potenziale</b>	fast nur negativ	fast nur negativ
	Transfer	
<b>Positivierungen</b>	deutlich negativer als die Negativierungen	beinahe identische Potenziale zu Negativierungen
<b>Negativierungen</b>	werden im Verlauf negativer ( $1\mu\text{V} \rightarrow -11\mu\text{V}$ )	werden im Verlauf negativer ( $3,8\mu\text{V} \rightarrow -11\mu\text{V}$ )
<b>Aufspaltung</b>	Keine	Keine
<b>Differenzierung</b>	stark schwankend	stark schwankend
<b>Registrierte Potenziale</b>	fast nur negativ	fast nur negativ

**Tab.4.1:** Gegenüberstellung der Lernverläufe aus Danzer (2005) mit aktueller Studie

Anhand der Tabelle ist deutlich zu erkennen, dass in beiden Studien ein sehr ähnlicher Lernverlauf stattfand. Sowohl die registrierten Potenziale bei den verschiedenen Aufgaben als auch die Fähigkeit zur Aufspaltung ist in den beiden Studien nahezu identisch. **Es ist demnach gelungen, die Ergebnisse von Danzer (2005) zu replizieren.** Die höheren  $\mu\text{V}$ -Werte im Differenzierungsmaximum in der vorliegenden Studie lassen sich mit der Verwendung unterschiedlicher Feedbacksysteme erklären. Man kann davon ausgehen, dass die Ergebnisse aus Tabelle 4.1 also annähernd den Lernverlauf gesunder Kinder während eines Neurofeedbacktrainings widerspiegeln.

Auffallend ist, dass in beiden Studien zwar zwischen den Aufgaben unterschied-

den werden konnte, bei den Positivierungsaufgaben aber ebenfalls negative Potenziale zu messen waren. **Es ist demnach nicht davon auszugehen, dass die Kinder gelernt haben zu positivieren.**

Eine plausible Erklärung dieser Ergebnisse liefern Strehl et al. (2006). Sie gehen davon aus, dass Kindern mit ADHS die Negativierung leichter fällt, weil ihr Erregungsniveau während der Baseline im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich liegt. Somit ist es einfacher, dieses Potenzial nach negativ zu verändern. Bei einer Hemmung (Deaktivierung) müsste diese bereits positive Baseline allerdings noch weiter gesenkt werden, was offensichtlich schwieriger ist. Liegt die Baseline bereits im negativen Bereich, ist das Gehirn schon aktivierter, eine Steigerung daher nur noch eingeschränkt möglich (Deckeneffekt nach Trimmler, aus Siniatchkin et al., 2000). Diese Annahme wird außerdem durch die Ergebnisse von Siniatchkin et al (2000) gestützt, wonach Kinder mit Migräne, im Vergleich zu gesunden Kindern, die Kontrolle über negative Potenziale später erlangen konnten. Bei Migräne-Patienten wird eine erhöhte Exzitabilität vermutet. Ihre Baseline ist demnach bereits negativer, sodass bei dieser Ausgangslage eine weitere Negativierung schwer fällt.

Die Hypothese, dass die Baseline von Kindern im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich anzusiedeln ist, lässt sich auch aus den Ergebnissen von Drechsler et al. (2007) herleiten. Sie führten eine LP-Studie mit ADHS-Kindern durch und machten ebenfalls die Beobachtung, dass die Probanden in der Lage waren zwischen den Aufgaben zu unterscheiden und dass sie das Negativieren erlernen konnten. Auch in dieser Studie konnten nach dem Training keine signifikanten Veränderungen während der Positivierungsaufgaben gemessen werden. Zu Beginn des Trainings verzeichneten sie bei den Kindern positive  $\mu\text{V}$ -Werte für beide Aufgaben (Aktivierung und Deaktivierung). Es ist davon auszugehen, dass diese Werte annähernd die Baseline repräsentieren, da die Kinder zunächst nicht in der Lage waren ihre Hirnaktivität auf Aufforderung hin zu steigern.

In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Kinder ohne Pathologien im EEG untersucht. Es stellt sich also die Frage, ob eine positive Baseline lediglich ein Ausdruck bestimmter Pathologien oder ein Merkmal der kindlichen Hirnrei-



fung an sich ist. Die Werte der vorliegenden Studie lagen fast ausschließlich im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich, was sich damit erklären lässt, dass die Werte keine absoluten Zahlen, sondern lediglich die Veränderungen von der Baseline ausgehend darstellen. Das heißt, dass die Kinder bei beiden Aufgaben ihre Gehirnströme aktiviert haben, dass die Aktivierung bei den Negativierungsaufgaben aber deutlich stärker ausgeprägt war. Ob es sich bei den absoluten Werten jedoch um positive  $\mu\text{V}$ -Werte handelt, ist aus diesen Ergebnissen nicht ersichtlich.

Die Aktivierung bei beiden Aufgabentypen kann außerdem damit erklärt werden, dass der fordernde Charakter jedes einzelnen Übungsdurchgangs eine ausgeprägte Positivierung nur schwer zulässt.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist eine erhöhte Aktivität (= kortikale Negativierung) für die Planung bzw. Mobilisierung zielgerichteten Verhaltens notwendig (Rockstroh et al., 1990). Möglicherweise ist diese Zielrichtung bei Kindern weniger ausgeprägt als im Erwachsenenalter.

Ergebnisse von Otto und Reiter (1984) deuten darauf hin, dass eine zielgerichtete Mobilisierung von Ressourcen altersabhängig ist. Sie untersuchten die CNV von Kindern im Alter zwischen 1 und 7 Jahren. Beim Vergleich der CNV in Abhängigkeit vom Alter stellte sich heraus, dass es erst ab einem Alter von 5 Jahren zu einer deutlichen, negativen CNV kommt. In den jüngeren Altersgruppen lag die CNV tendenziell im positiven Bereich: Je jünger die Kinder waren, desto kürzer und desto positiver war die CNV. Auch diese Beobachtung unterstützt die Hypothese, dass Kinder grundsätzlich, bezogen auf ihren Ausgangszustand leichter negativieren als positivieren können.

Viele Studien haben die Hypothese aufgestellt, dass es sich bei ADHS um eine Entwicklungsverzögerung des Gehirns handelt (Kinsbourne, 1973; Hobbs et al., 2007). Die EEG-Muster vieler ADHS-Kinder gleichen eher denen jüngerer Kinder, ihre Baseline wäre demzufolge positiver als die gleichaltriger Kontrollkinder. Man kann also davon ausgehen, dass sich die Baseline alters- oder entwicklungsabhängig verändert und mit zunehmendem Alter bzw. zunehmender Hirnreife immer negativere Werte annimmt. Danzer (2005) untersuchte in ihrer Arbeit den Unterschied zwischen gesunden und ADHS-

Kindern nach einem zehnstündigen Neurofeedbacktraining. Dabei lagen bei beiden Gruppen fast alle registrierten Potenziale im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich, d.h. die Aufspaltung erfolgt im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich. Die Ursache könnte an einer Verlagerung des Erregungsniveaus in positive  $\mu\text{V}$ -Bereiche liegen, welche durch den Deckeneffekt nach Trimmler (aus Siniatchkin et al., 2000) erklärt werden kann. Danzer postulierte, dass die fehlenden positiven Potenziale bei ADHS-Kindern keine spezifische Pathologie der Erkrankung darstellen, sondern eine generelle Eigenschaft des kindlichen Gehirns sind. Möglicherweise entwickeln sich die Positivierungen erst im Laufe der Entwicklung bis zum Erwachsenenalter. Um näher zu erforschen, ob die Fähigkeit zur Negativierung eine Form der Hirnreife darstellt, könnte in einer weiteren Studie der Zusammenhang zwischen der Höhe der Baseline und dem Alter untersucht werden.

#### 4.1.2 Lernverlauf der gesamten Gruppe im Transfer

Im Transfer ist zu beobachten, dass - anders als im Feedback - beide Kurven im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich starten. Sie verlaufen nahezu parallel, unterliegen starken Schwankungen und sind am Ende des Trainings beide im negativen  $\mu\text{V}$ -Bereich. **Es ist nicht davon auszugehen, dass eine LP-Kontrolle unter der Transferbedingung erlangt wurde.**

Betrachtet man nur die Amplituden in den Negativierungsaufgaben, so ist eine deutliche Steigerung festzustellen. Die Kinder konnten demnach am Ende des Trainings negativere LP produzieren. Allerdings unterscheiden sich die Amplituden in den Positivierungsaufgaben nicht von denen in den Negativierungsaufgaben. Die Kinder waren folglich unter der Transferbedingung nicht zur Differenzierung in der Lage. Leins (2004) beschreibt, dass unter Transferbedingungen in den Sitzungen 20 bis 30 die besten Leistungen erzielt wurden. Da es sich um eine komplexere Aufgabenstellung handelt, sind zehn Trainingssitzungen vermutlich zu wenig, um einen Lernerfolg unter Transferbedingungen zu beobachten.

In der vorliegenden Studie beginnen beide Kurven, Positivierung und Negativierung, im positiven  $\mu\text{V}$ -Bereich. Möglicherweise spiegeln die

gemessenen Potenziale annähernd den absoluten Wert der Baseline wider und wären damit auch ein Hinweis auf die vermutete positive Baseline bei Kindern. Die Probanden waren zu Beginn des Trainings mit der Transferbedingung überfordert. Vor allem die Jüngeren wirkten bei den Transferaufgaben schnell frustriert. Ohne visuelle Rückmeldung konnten sie keine Veränderung ihrer Gehirnaktivität erzielen. Die gemessenen Potenziale geben demnach ein Bild der Grundaktivität wider.

#### **4.2 Lernerfolg (Fragestellungen II – IV)**

Da die Fähigkeit, in den Negativierungs- und Positivierungsaufgaben unterschiedliche Potenzialverschiebungen zu zeigen, am Ende des Trainings in der Feedbackbedingung besser ist als zu Beginn, kann man diesbezüglich von einem Lernerfolg ausgehen.

Im Transfer hingegen ist dies nicht der Fall. Die Positivierungskurve ist hier im Vergleich zur Negativierungskurve sogar stets etwas negativer. Dieses Vertauschen der Reaktionen und die geringe Differenzierung verdeutlichen, dass nach zehn Sitzungen nicht von einem Lernerfolg unter der Transferbedingung gesprochen werden kann.

##### 4.2.1. Kriterien für den Lernerfolg

Im Ergebnisteil wurden exemplarisch zwei Lernverläufe einzelner Kinder dargestellt. Anhand dieser Darstellung sollte verdeutlicht werden, nach welchem Prinzip die Kinder später in zwei Gruppen unterteilt wurden: Regulierer und Nicht-Regulierer.

##### *4.2.1.1 Ein Regulierer - Lernverlauf am Beispiel E13*

Der Trainingsverlauf von E13 (vgl. Abb.3.5) verdeutlicht, warum in dieser Arbeit von Regulierern und nicht von Lernern die Rede ist. Es lässt sich zwar eine deutliche Steigerung aller Kriterien im Verlauf beobachten (Positivierung, Negativierung und Differenzierung), was auf einen Lernerfolg hindeutet. Allerdings hatte der Proband bereits bei den ersten beiden Sitzungen die Fähigkeit zur Aufspaltung in die richtige Richtung. Es ist nicht davon

auszugehen, dass diese Aufspaltung gelernt wurde. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass E13 schon zu Beginn des Trainings in der Lage war, seine LP in gewissem Maße zu regulieren. Aus diesem Grund ist im Folgenden stets von Regulierern die Rede.

Bemerkenswert ist bei diesem Proband auch der relativ parallele Kurvenverlauf während der Sitzungen S4 bis S7, in denen keine wesentliche Aufspaltung stattfindet. Ab Sitzung S8 scheint es jedoch eine konstante Aufspaltung zu geben. Dies hängt mit dem Erwerb der LP-Kontrolle zusammen. Danzer (2005) vertritt in ihrer Arbeit die Theorie, dass das Erlernen der LP-Kontrolle als motorisches (implizites) Lernen zu deuten ist. Nach der Theorie von Fitts (1964; aus Danzer, 2005) lässt sich diese Art des Lernens in drei Stufen einteilen: eine kognitive Phase, eine assoziative und eine autonome Phase. Nach dieser Theorie werden in der ersten Phase sehr rasch Fortschritte gemacht, während sich der Lernprozess in der assoziativen Phase verlangsamt. In der autonomen Phase kommt es dann zu einer Automatisierung des Erlernten. Auch wenn sich die Kurve von E13 damit nicht vollständig erschließen lässt, so ist doch eine deutliche Dreiteilung der Kurve zu erkennen, die sich mit der Theorie des impliziten Lernens vereinbaren lässt. Demnach würde es sich bei den Sitzungen S2 und S3 um die kognitive und bei den Sitzungen S4 bis S7 um die assoziative Phase handeln. Ab Sitzung S8 hat sich die Kontrolle über die LP automatisiert und es kommt zu einer systematischen Differenzierung zwischen den Aufgabentypen. Ähnliche Verläufe zeigten sich auch bei den anderen Regulierern.

Die Tatsache, dass es bei E13 zu einem Sistieren des Erfolgs in den mittleren Sitzungen kommt, kann auch pragmatisch mit einer Abnahme der anfänglichen Motivation und Begeisterung für das Neurofeedbacktraining erklärt werden. Die Zunahme des Erfolgs gegen Ende des Trainings lässt sich dann mit dem Ehrgeiz beim „Endspurt“ erklären. Die Probanden wollen noch einmal möglichst viele Punkte für die Belohnungskarte holen.

Die Kinder, die der Gruppe der Regulierer zugeordnet wurden, mussten folgende Kriterien erfüllen:

- Zunahme der Negativierung, sowie
- Zunahme der Differenzierung zwischen Positivierung und Negativierung

#### 4.2.1.2 *Ein Nicht-Regulierer – Lernverlauf am Beispiel E01*

Im Gegensatz dazu erfüllen die Nicht-Regulierer die oben aufgeführten Kriterien nicht oder nur teilweise. Dies soll am Lernverlauf von E01 (vgl. Abb.3.6) verdeutlicht werden.

Der Verlauf der beiden Kurven ist relativ ungerichtet und weitestgehend parallel. Es findet weder eine Zunahme der Negativierung noch der Differenzierungsfähigkeit statt. Offensichtlich kann E01 nicht zwischen den beiden Aufgabentypen unterscheiden und ist auch bis zum Ende des Trainings nicht in der Lage, Kontrolle über seine LP zu erlangen.

Möglicherweise war bei diesem Kind der Anreiz, die Kontrolle zu erlangen, nicht hoch genug. Für das implizite Lernen im Sinne des im vorherigen Kapitel genannten Modells muss jedoch eine gewisse Motivation vorhanden sein. Auch wenn seitens der Versuchsleiter und durch die Verstärker versucht wurde, die möglichst hohe Motivation aufzubauen und zu erhalten, lässt sich nicht ausschließen, dass diese mit der Zeit und vor allem bei ausbleibendem Erfolg nachließ. Zukünftige Studien sollten versuchen, diesen Faktor zu kontrollieren.

Ein weiterer Erklärungsansatz besteht in der Vermutung, dass nicht alle Kinder in der Lage sind, innerhalb von zehn Trainingssitzungen Kontrolle über ihre LP zu erlangen. Kaiser und Othmer (1997) zeigten beispielsweise, dass Probanden, die nach 20 Sitzungen keine Selbstkontrolle erworben hatten, in 20 zusätzlichen Sitzungen ein gewisses Maß an Selbstkontrolle erlangen konnten. Dieser Sachverhalt lässt sich allerdings nur schwer untersuchen, da eine Versuchsanordnung mit mehr als zehn Sitzungen bei gesunden Kindern vermutlich nur bei extrem hohem Anreiz möglich wäre, was ethisch kaum zu vertreten ist.

#### 4.2.2 Prädiktoren für den Lernerfolg

Zum einen fällt auf, dass es unter Feedbackbedingungen wesentlich mehr Regulierer gibt, als unter Transferbedingungen. Dies passt zu den Beobachtungen anderer Studien, wonach es **im Transfer wesentlich schwieriger ist, LP-Kontrolle zu erlangen** (vgl. Heinrich et al., 2004; Danzer, 2005; Leins et al., 2006; Strehl et al., 2006; Heinrich et al., 2007; Drechsler et al., 2007). Daneben spielen Faktoren eine Rolle, die in der Person liegen. Die Regulierer im Feedback sind im Vergleich mit den Nicht-Regulieren etwas jünger (- 0,8 J). Dieses Ergebnis passt zu der Annahme, dass eine negative Baseline Ausdruck der fortgeschrittenen Hirnreifung ist, da die Baseline im Laufe der Entwicklung zunehmend negativere Werte annimmt. Die jüngeren Kinder besitzen also eine positivere Baseline, die sich einfacher negativieren lässt. Für sie ist es demnach einfacher, die Kriterien der Regulierer zu erfüllen.

Die Tatsache, dass der IQ der Regulierer im Feedback durchschnittlich um 8 Punkte höher liegt, ist möglicherweise damit zu erklären, dass ein IQ-Test die Mobilisierung von Ressourcen verlangt und die Fähigkeit zu Negativieren mit einem besseren Abschneiden im IQ-Test korreliert (vgl. Hanslmayer et al. 2005).

Bei der Auswertung der Kovarianzanalyse unter der Transferbedingung fällt auf, dass die Regulierer hier älter sind. Dieser Sachverhalt lässt sich vermutlich mit der Abstraktheit der Aufgabe erklären. Auch für den IQ findet sich eine positive Korrelation mit der Transferbedingung. In einigen Studien wurde der IQ als abhängige Variable unter einem NF-Training gefunden (vgl. Fernandez et al., 2003; Lubar et al., 1995; Strehl et al., 2006)

Das Geschlecht scheint unter beiden Bedingungen keinen Einfluss auf den Lernerfolg zu haben

#### **4.3 Veränderungen in der Aufmerksamkeitsleistung (Fragestellung V)**

Der d2 misst Tempo und Sorgfalt des Arbeitsverhaltens bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize und ermöglicht damit die Beurteilung individueller Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistungen (Brickenkamp, 2002).

Die signifikante Verbesserung beider Gesamtleistungswerte GZ-F und KL ver-

anschaulicht, dass **die selektive Aufmerksamkeit der Probanden nach dem Feedbacktraining zugenommen hat**. Dabei ist nicht davon auszugehen, dass die Ergebnisse auf Übungseffekte zurückzuführen sind. GZ-F und KL sind über lange Zeitabschnitte relativ stabil sind (Brickenkamp, 2002) und die Retest-Reliabilität ist mit  $r > 0,94$  sehr hoch.

Diese Ergebnisse bestätigen Beobachtungen früherer Studien, wonach Neurofeedback zu deutlichen Verbesserungen der Aufmerksamkeitsleistung führt (Alhambra et al., 1995; Lubar et al., 1995; Kaiser & Othmer, 2000; Monastra et al., 2002; Fuchs et al., 2003; Leins et al., 2006).

#### **4.4 Veränderungen im EEG (Fragestellung VI)**

Neben den Lernerfolgen und den Veränderungen in der Aufmerksamkeit wurde in der vorliegenden Studie der Einfluss eines Trainings der Langsamen Potentiale auf die Spontanaktivität des EEG untersucht. Hierfür wurde bei den Probanden vor und nach dem Training ein 19-Kanal EEG bei geschlossenen Augen abgeleitet.

Es konnte in mehreren Neurofeedback-Studien nachgewiesen werden, dass Probanden im Stande sind, die Aktivität in bestimmten Frequenzbändern zu verändern (Lubar et al., 1995; Thompson & Thompson, 1998; Monastra et al., 2002).

Serman (1996) stellte fest, dass Veränderungen in Aufmerksamkeit und Verhalten in bestimmten EEG-Frequenzen nachweisbar sind (allgemeine Verlangsamung bei Aufmerksamkeitsabnahme). Diese Beobachtungen passen zu Studien, die zeigen konnten, dass Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung (ADHS) EEG-Muster aufweisen, die sich von denen gesunder Kinder unterscheiden (Chabot et al., 1996; Chabot & Serfontein, 1996; Monastra et al., 1999). So fanden Chabot und Serfontein (1996) bei ADHS-Kindern eine erhöhte absolute und relative Theta-Aktivität sowie eine reduzierte relative Alpha- und Beta-Aktivität nachweisen.

Bei einer Steigerung der Aufmerksamkeit würde man also am ehesten eine Zunahme der Beta- und Alpha-Aktivität sowie eine Abnahme der Theta-Aktivität erwarten. Einzelne Studien scheinen diese Annahme zu bestätigen. Alhambra

et al. (1995) führten eine Studie mit 36 ADHS-Kindern durch. Nach 20 NF-Sitzungen werteten sie das EEG von insgesamt zehn Kindern aus. Dabei zeigten sieben Kinder Veränderungen im EEG in Form von vermindertem absolutem und relativem Theta und vermehrtem relativen Beta gegenüber der Eingangsuntersuchung. Das EEG wurde jedoch nur an der Elektrodenposition Cz abgeleitet. Außerdem belegen die Autoren ihren Befund nicht mit quantitativen Angaben.

Monastra et al. (2002) untersuchten insgesamt 100 Probanden im Alter von 6 bis 19 Jahren mit ADHS. Etwa die Hälfte der Teilnehmer erhielt in Ergänzung zu medikamentöser Betreuung, Elternberatung und Betreuung in der Schule ein NF-Training. Vor und nach dem Training wurde ein EEG an Cz abgeleitet und anschließend der Theta/Beta-Quotient bestimmt. Dabei zeigte sich, dass sich dieser nach dem Training signifikant verringerte. Bei den Kindern, die kein NF-Training erhalten hatten, konnte keine Veränderungen festgestellt werden. Das heißt, dass die Probanden nach einem Jahr Biofeedback eine verringerte Theta- sowie eine erhöhte Beta-Aktivität aufwiesen. Das NF-Training hat demzufolge das EEG verändert. Allerdings wurden die EEG-Messungen während kognitiver Leistungen (Lesen, Zuhören, Malen) aufgezeichnet. Sie spiegeln also keine Veränderungen im Ruhe-EEG wider. Es stellt sich folglich nach wie vor die Frage, ob sich auch im Ruhe-EEG nach einem NF-Training Veränderungen zeigen.

**In der vorliegenden Studie ließen sich keine signifikanten Veränderungen im EEG nachweisen.** Das könnte zum einen daran liegen, dass insgesamt nur zehn NF-Feedbacksitzungen durchgeführt wurden. Möglicherweise könnte nach weiteren zehn bis 20 Sitzungen eine eindeutigere Aussage getroffen werden. Leins (2004) schreibt, dass Probanden einer NF-Studie die höchsten Erfolge zwischen der 20. und 30. Sitzungen erzielen konnten. Dies lässt die Vermutung zu, dass mögliche Veränderungen im EEG zu diesen Zeitpunkten deutlicher ausgeprägt wären. Wie bereits oben erwähnt, ist ein längeres NF-Trainings mit gesunden Probanden nur schwer zu realisieren, so dass es kaum möglich erscheint, diese Frage zu überprüfen.

Zum anderen handelt es sich in der vorliegenden Studie um eine eher kleine



Stichprobe (N=18), für die Effekte sehr groß sein müssen, um signifikant zu werden.

#### 4.4.1 Beta-Aktivität

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Veränderung der Beta-Aktivität. Da dies der Hypothese, dass Beta nach einem Training zunehmen müsste, widerspricht, soll dies im Folgenden diskutiert werden.

Als Beta-Aktivität werden Potenzialschwankungen oberhalb 13 Hz bezeichnet. Beta lässt sich vor allem in der Präzentralregion nachweisen und kann als Komponente der lokalen Grundaktivität in Ruhe angesehen werden (Zschocke, 2002). Eine kortikale Aktivitätssteigerung resultiert in einer Beschleunigung im EEG und damit in einer Zunahme der gemessenen Beta-Aktivität (Zschocke, 2002; Ray & Cole, 1985).

Die Tatsache, dass keine Zunahme von Beta gefunden wurde, lässt sich möglicherweise auf einen Mangel an Motivation und damit verbundenem geringem Arousal während der abschließenden Messung zurückführen. Bei der ersten Messung ist davon auszugehen, dass die Kinder durch die neue Situation, das bevorstehende NF-Training und die Aussicht auf eine Belohnung sehr motiviert waren. Demgegenüber wurde die zweite Messung eher als uninteressant und langweilig bewertet. Die kortikale Aktivität war demnach niedriger als bei der ersten Messung. Folglich war der Anteil an Betaaktivität geringer.

Möglicherweise lassen sich Unterschiede unter anderen Versuchsbedingungen nachweisen. Die zweite EEG-Messung könnte beispielsweise mit einer bestimmten Anzahl an Belohnungspunkten gekoppelt sein, um einen ähnlichen Motivationszustand zu erzeugen. Hallschmid et al. (2002) beobachteten, dass die Aussicht auf Belohnung eine kurzfristige Steigerung im Betaband hervorruft. Um mögliche Veränderungen nicht mit dem zu untersuchenden Effekt des NF-Trainings zu konfundieren, müsste die gleiche Bedingung auch bei der ersten Messung eingeführt werden.

Niedermeyer (2005) führt aus, dass die einzelnen EEG-Frequenzen nicht als permanent und unveränderbar anzusehen sind und jede EEG-Messung einen gewissen Grad an Variabilität aufweist. Brismar (2007) ermittelte kürzlich für

das EEG junger, gesunder Erwachsener Variationskoeffizienten für einzelne Frequenzbänder und kommt zu dem Schluss, dass diese von der Dauer des ausgewählten Abschnittes abhängen. Für Beta sei danach ein Abschnitt von mindestens 108s erforderlich, für Alpha mindestens 124s, um zeitliche Variationen auszuschließen. In der vorliegenden Studie ließ sich dies nicht für alle Kinder realisieren. Die untere Grenze der ausgewählten EEG-Abschnitte betrug 60s. Möglicherweise ließe sich demnach mit der Auswertung längerer EEG-Abschnitte eine eindeutigere Aussage über das EEG nach einem NF-Training treffen.

#### 4.4.2 Alpha-Aktivität

Alpha (8-13Hz) wird vor allem in den posterioren Hirnregionen während entspannter Wachheit (Augen zu) gemessen. In der EEG-Reifung nimmt Alpha in seiner Frequenz stetig zu, um im Alter von etwa zehn Jahren sein Maximum zu erreichen. Petersén und Eeg-Olofsson (1971) sprechen von 10,2 +/- 0,9 Hz als mittlerer Alphafrequenz eines gesunden Erwachsenen (aus Niedermeyer, 2005).

Hohe Alpha-Werte im Ruhe-EEG korrelieren positiv mit kognitiver Leistung (Hanslmayr et al., 2005). Bei verbesserter Aufmerksamkeitsleistung, wie sie anhand des d2 nachgewiesen wurde, könnte man daher eine Zunahme der Alpha Peak Frequenz erwarten. Diese Veränderung ist in der vorliegenden Studie nicht nachzuweisen, was sich ebenfalls mit der zu geringen Trainingsanzahl und der herabgesetzten Motivation erklären lässt. Hallschmid et al. (2002) konnten zeigen, dass motivierte Patienten (Durst) nach einer Belohnung (Trinken) im gesamten EEG erhöhte Alpha-Werte aufzeigten.

Schließlich ist es auch denkbar, dass die Alpha Peak Frequenz unter Ruhebedingungen sehr stabil ist.

#### 4.4.3 Theta-Aktivität

Als Theta-Aktivität werden Potenzialschwankungen zwischen 4 und 7 Hz bezeichnet. Im EEG wacher Erwachsener ist nur wenig Theta nachzuweisen, weshalb Theta häufig als Parameter für die Hirn-/EEG-Reifung herangezogen

wird (Niedermeyer, 2002). Außerdem findet sich Theta vermehrt in Phasen von Schläfrigkeit oder im Schlaf.

Da bei Kindern mit ADHS erhöhte Theta-Werte gemessen werden, würde man bei gesteigerter Aufmerksamkeit also am ehesten eine Abnahme der Theta-Werte erwarten. Bei den Kindern der Studie nimmt Theta im Schnitt zwar ab, aber auch hier sind die Veränderungen nicht signifikant ( $p > 0,13$ ). Möglicherweise wären auch hier die Ergebnisse nach einem längeren Training und während kognitiver Leistung ausgeprägter.

Da sich bei den einzelnen EEG-Frequenzbändern keine Änderung zeigte, können sich auch die Theta/Alpha und Theta/Beta Werte nicht verändert haben. Sie werden daher nicht mehr im Einzelnen diskutiert.

#### 4.4.4 Zusammenfassung der EEG Ergebnisse

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich **das EEG der in der Studie untersuchten Kinder nach dem NF-Training nicht verändert hat**. An Gründen ist zum einen anzuführen, dass die Anzahl der Sitzungen zu gering war, um Veränderungen im EEG zu erzielen. Zum anderen kann man davon ausgehen, dass das Motivationsniveau in der vorliegenden Versuchsanordnung nach dem Training niedriger war als vor dem Training. Außerdem muss bedacht werden, dass das intraindividuelle EEG Schwankungen unterworfen ist. Um diese Fehlerquelle weitgehend auszuschließen, sollten EEG Abschnitte  $>124s$  untersucht werden. Aber es ist auch denkbar, dass eine Veränderung des EEG gesunder Probanden nur schwer zu erreichen ist.

Die bisherigen Studien, die nach einem NF-Training Veränderungen im EEG nachweisen konnten (Alhambra et al., 1995; Monastra et al., 2002) nannten keine konkreten Zahlen, weshalb sie in diesem Zusammenhang nur eingeschränkt zu beurteilen sind. Außerdem bezogen sie sich jeweils auf ADHS-Kinder, deren EEG zu Beginn der Messung als pathologisch bewertet wurde (Theta $\uparrow$ , Beta $\downarrow$ ). Häufig werden diese Abweichungen vom normalen EEG als verzögerte EEG-Reifung interpretiert (Hobbs et al., 2007). Während des jeweiligen NF-Trainings sollten die Probanden dann gezielt versuchen, diese Patholo-

gien zu verändern. In der vorliegenden Studie sollten die Kinder lernen, ihre LP zu kontrollieren, was zu einer Herabsetzung der Erregbarkeitsschwelle des Gehirns führen sollte und keine Veränderung pathologischer Muster zum Ziel hatte. Es ist anzunehmen, dass es leichter ist, ein solches Missverhältnis zu verändern, während ein gesundes EEG nur schwer zu verändern ist und eine relativ konstante Variable darstellt. Näpflin et al. (2007) leiteten zwei Ruhe-EEG von insgesamt 20 gesunden Erwachsenen im Intervall von einem Jahr ab. Sie versuchten anhand der zweiten Messung den Probanden zu identifizieren. Dabei gelang es 88% der Probanden richtig zuzuordnen. Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass es sich beim Ruhe-EEG um eine relativ konstante Variable handelt und es starke interindividuelle Unterschiede aufweist (statistische Signatur, nach Näpflin et al., 2007). Ein LP-Training hat zudem eine Veränderung der phasischen Bereitschaft des Kortex zum Ziel, die gemessenen Frequenzen im Ruhe-EEG stellen aber tonische Komponenten dar. Auch dieser Sachverhalt stellt einen möglichen Erklärungsansatz dar, weshalb sich kein Zusammenhang feststellen lässt. Außerdem wurde in den genannten Studien (Alhambra et al., 1995; Monastra et al., 2002) das EEG nur an Cz und meist während kognitiver Aktivität abgeleitet. Veränderungen der Aufmerksamkeit lassen sich möglicherweise nur während kortikaler Aktivität (Lesen, Rechnen, Zuhören, Malen) messen und nicht im Ruhe-EEG, da das Ruhe-EEG eine relativ konstante Variable darstellt (Näpflin et al., 2007). In der vorliegenden Studie ließ sich eine Auswertung der EEG-Daten an Cz während dem Training aus technischen Gründen nicht realisieren. Prinzipiell ist es jedoch denkbar, dass auch während des Trainings erhobene EEG-Daten eine Veränderung zugunsten der schnellen Frequenzen (Alpha, Beta) aufweisen.

#### 4.4.5 Kovarianzanalyse der EEG Daten (Fragestellung VII)

In der Kovarianzanalyse sollte festgestellt werden, ob Veränderungen im EEG mit dem IQ, dem Alter, dem Geschlecht oder dem Lernerfolg (Fähigkeit im Training zwischen Positivierung und Negativierung zu unterscheiden) korrelieren.

Dabei konnten in der vorliegenden Studie keine Zusammenhänge festgestellt werden. Aus der Literatur würde man am ehesten einen Zusammenhang zwischen der Veränderung im EEG und Intelligenz (IQ), sowie der Veränderung im EEG und Lernerfolg erwarten – wie im Folgenden dargestellt.

Liu et al. (2008) untersuchten das EEG von 47 Kindern im Alter zwischen 10 und 13 Jahren. 24 dieser Kinder wurden als hochintelligent eingestuft (>95. Perzentile im CFT). Dabei fanden sie heraus, dass ein hoher IQ positiv mit hohen Alpha-Werten korreliert. Schmid, Tirsch und Scherb (2002) interpretierten diese Korrelation als fortgeschrittene Hirnreifung. Hochbegabte haben demnach mehr Synapsen und die Fähigkeit, intrazerebrale Netzwerke besser zu kontrollieren (Liu et al., 2008). Ob ein hoher IQ auch mit einem Anstieg von Alpha nach einem NF-Training korreliert, lässt sich daraus nicht ableiten. Da ein gutes Ergebnis in einem Intelligenztest, wie bereits erwähnt, eine Mobilisierung von Ressourcen voraussetzt, ist bei diesen Kindern die Alpha Peak Frequenz vor dem Training bereits hoch. Es ist also vorstellbar, dass aufgrund des Deckeneffekts nach Trimmer (aus Siniatchkin et al., 2000) eine Steigerung der Alpha Peak Frequenz bei Kindern mit hohem IQ nicht weiter möglich ist. Da die Fähigkeit Ressourcen zu mobilisieren durch ein NF-Training gestärkt werden kann, erscheint es jedoch plausibel, dass es eine positive Korrelation zwischen einer Steigerung im IQ und der Veränderung des EEG geben könnte. In der vorliegenden Studie konnte nicht untersucht werden, ob die Kinder nach dem Training einen höheren IQ-Wert aufwiesen, da die Abstände vorher-nachher eine Test-Wiederholung nicht zuließen. Es konnte jedoch in der vorliegenden Studie kein Zusammenhang zwischen dem IQ und Veränderungen im EEG festgestellt werden.

Eine positive Korrelation zwischen Veränderungen im EEG und Lernerfolg erscheint plausibel. Führt die Fähigkeit zu negativieren, die mit einer kortikalen

Aktivierung einhergeht, zu einer Veränderung im Spontan-EEG? Nur bei gegebenem Lernerfolg ist von einer Veränderung im EEG auszugehen. In der vorliegenden Studie konnten jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen diesen beiden Variablen festgestellt werden. Zum einen muss auch bei dieser Fragestellung davon ausgegangen werden, dass zehn Sitzungen nicht ausreichen, um eine Veränderung hervorzurufen. Zum anderen kann der fehlende Zusammenhang auch darauf beruhen, dass eine solche Veränderung nicht im Ruhe-EEG nachweisbar ist (Näpflin et al., 2007).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es in der vorliegenden Studie gelungen ist, die Ergebnisse von Danzer (2005) bezüglich Lernerfolg und -verlauf zu replizieren. Die Kinder konnten Kontrolle über negative LP erlangen und diese LP von den Positivierungsaufgabe unterscheiden. Die Probanden haben jedoch nach zehn Trainingssitzungen nicht gelernt zu positivieren. Diese Tatsache lässt sich zum einen mit der vermuteten positiven Baseline von Kindern und dem damit verbundenen Deckeneffekt nach Trimmmer (aus Siniatchkin et al., 2000) erklären. Zum anderen ist anzunehmen, dass der fordernde Charakter der Aufgabenstellung eine ausgeprägte Positivierung nur schwer zulässt. Auch unter Transferbedingungen erscheinen zehn Sitzungen zu wenig um eine Kontrolle über die Langsamen Potenziale zu erlangen. Nach dem Training konnte bei den Probanden der Studie eine Zunahme der selektiven Aufmerksamkeit, gemessen am d2, festgestellt werden. Bei der Auswertung der EEG-Daten ließen sich keine signifikanten Veränderungen nachweisen. Zum einen ist auch in diesem Zusammenhang davon auszugehen, dass zehn Sitzungen zu wenig sind um das Ruhe-EEG zu verändern. Zum anderen ist anzunehmen, dass sich die gemessene Steigerung der Aufmerksamkeitsleistung (d2) während kognitiver Aktivität (Lesen, Rechnen, Zuhören) im EEG nachweisen lässt, dass es sich beim Ruhe-EEG aber um eine sehr konstante Größe handelt, die nur schwer zu verändern ist.

## 5. Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben sich viele Studien mit dem Neurofeedback und seinen Auswirkungen auf Verhalten, Aufmerksamkeit und das EEG beschäftigt. Dabei stand meist eine Veränderung pathologischer EEG-Muster im Vordergrund.

In der vorliegenden Studie sollten Ergebnisse einer vorhergehenden Studie (Danzer, 2005) mit gesunden Kindern repliziert, sowie die Auswirkungen von 10 Sitzungen Neurofeedback-auf das Ruhe-EEG untersucht werden. Dafür wurden 20 Kinder im Alter von 8 bis 13 Jahren rekrutiert. Die Probanden nahmen an insgesamt zehn Neurofeedback-Sitzungen teil und sollten lernen, Kontrolle über ihre langsamen Potenziale zu erlangen. Vor und nach dem Training wurde bei allen Kindern ein 19-Kanal EEG abgeleitet sowie ein Aufmerksamkeits-Belastungs-Test durchgeführt.

Etwa die Hälfte der Kinder (N=11) konnten am Ende des Trainings ihre LP kontrollieren und zwischen Aktivierungs- (Negativierung) und Deaktivierungsaufgaben (Positivierung) unterscheiden. Den Probanden fiel es insgesamt leichter zu negativieren. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass sie die Fähigkeit zu positivieren erlangt haben. Dieses Ergebnis lässt sich gut mit den Ergebnissen von Danzer (2005) vereinbaren. Die erfolgreichen Kinder (Regulierer) waren etwas jünger als die nicht erfolgreichen Kinder. Da bei jüngeren Kindern von einer positiveren Baseline auszugehen ist, müsste eine Aktivierung damit einfacher zu erzielen sein. Außerdem konnte eine positive Korrelation zwischen der Fähigkeit zu negativieren und höherem IQ festgestellt werden. Dies lässt sich damit erklären, dass ein IQ-Test die Mobilisierung von Ressourcen und damit die Fähigkeit zu aktivieren (Negativierung) erfordert.

Erhöhte Gesamtleistungswerte im Aufmerksamkeits-Belastungs-Test nach dem Training weisen auf eine gesteigerte selektive Aufmerksamkeit der Probanden nach dem Training hin.

Die Auswertung des EEG ergab keine signifikanten Veränderungen nach dem Training. Dies deutet zum einen darauf hin, dass zehn Sitzungen möglicherweise zu wenig sind, das EEG zu verändern. Vor allem aber muss angenommen

werden, dass Veränderungen eines gesunden EEG nur schwer zu erreichen sind und von daher auch nicht als Erfolgsmaß für ein Neurofeedback-Training anzusehen sind.

Um den Einfluss eines Neurofeedbacktrainings auf das EEG besser beurteilen zu können, sollten sich nachfolgende Studien vor allem mit der Frage beschäftigen, ob ein längeres Training Veränderungen im EEG hervorruft und inwieweit die Motivation Einfluss auf das Ruhe-EEG hat. Grundsätzlich ist es aber auch denkbar, dass das Ruhe-EEG nicht beeinflusst werden kann. In den bisher veröffentlichten Studien konnten Veränderungen im EEG während kognitiver Leistungen nachgewiesen werden, eine weitere Studie sollte sich daher damit befassen, ob sich diese Ergebnisse auch auf das Ruhe-EEG übertragen lassen.



## I. Literaturverzeichnis

Alhambra MA, Fowler TP, Alhambra AA (1995). EEG Biofeedback: A new treatment option for ADD/ADHD. *Journal of Neurotherapy*, 2(1), 39-43.

Barry RJ, Johnstone SJ, Clarke AR (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials. *Clinical Neurophysiology* 114, 184-198

Barry RJ, Clarke AR, McCarthy R, Selikowitz M, Rushby JA, Ploskova E (2004). EEG differences in children as a function of resting-state arousal level. *Clinical Neurophysiology*, 115, 402-408

Birbaumer N, Elbert T, Canavan AGM, Rockstroh B (1990). Slow Potentials of the cerebral cortex and behaviour. *The American Physiological Society*, 70 (1) 1-41

Brickenkamp R (2002). Test d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. 9. Überarbeitete und neu normierte Auflage. Hogrefe Verlag, Göttingen, Bern, Toronto

Brismar T (2007). The human EEG - Physiological and clinical studies. *Physiology and Behavior*, 92 (1-2), 141-147

Chabot RJ, Merkin H, Wood LM, Davenport TL, Serfontein G (1996). Sensitivity and specificity of QEEG in children with attention deficit or specific developmental learning disorders. *Clinical Electroencephalography* 27, 26-34

Chabot RJ, Serfontein G (1996). Quantitative electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder. *Biological Psychiatry*, 40 (10), 951-963

Clark CR, Veltmeyer MD, Hamilton RJ, Simms E, Paul R, Hermens D, Gordon E (2004). Spontaneous alpha peak frequency predicts working memory performance across the age span. *International Journal of Psychophysiology* 53, 1-9

Danzer N (2005). Selbstregulation der langsamen kortikalen Potentiale bei Kindern mit und ohne ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-/ Hyperaktivitätsstörung); Eine Pilotstudie. Inaugural-Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Medizinische Fakultät.

Drechsler R, Straub M, Doehnert M, Heinrich H, Steinhausen HC, Brandeis D (2007). Controlled evaluation of a neurofeedback training of slow cortical potentials in children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Behavioral and Brain Functions* 3:35

Egner T, Gruzelier JH (2004). EEG biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131-139

Fernández T, Herrera W, Harmony T, Diaz-Comas L, Santiago E, Sánchez L, Bosch J, Fernández-Bouzas A, Otero G, Ricardo-Garcell J, Barraza C, Auber E, Galán L, Valdés P (2003). EEG and behavioral changes following neurofeedback treatment in learning disabled children. *Clinical Electroencephalography*, 34(3), 145-152.

Fuchs F, Birbaumer N, Lutzenberger W, Gruzelier JH, Kaiser J (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: A comparison with methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28, 1-12

Goodman R, Meltzer H, Bailey V (1998). The strengths and difficulties questionnaire: A pilot study on the validity of the self-report version. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 7, 125-130

Hanslmayr S, Sauseng P, Doppelmayr M, Schabus M, Klimesch W (2005). Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30 (1), 1-10

Hallschmid M, Mölle M, Fischer S, Born J (2002). EEG synchronization upon reward in man. *Clinical Neurophysiology* 113(7), 1059-1065

Heinrich H, Gevensleben H, Freisleder FJ, Moll GH, Rothenberger A (2004). Training of slow cortical potentials in attention-deficit/hyperactivity disorder: Evidence for positive behavioral and neurophysiological effects. *Biological Psychiatry*, 55, 772-775

Heinrich H, Gevensleben H, Strehl U (2007). Annotation: Neurofeedback – train your brain to train behavior. *Journal of Psychology and Psychiatry* 48:1, 3-16

Hinterberger T, Kaiser J, Kübler A, Neumann N, Birbaumer N. The Thought Translation Device and its Applications to the Completely Paralyzed. In: Diebner, Druckrey, Weibel, editors. *Sciences of the Interfaces*. Tübingen: Genista-Verlag; 2001.

Hobbs MJ, Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M (2007). EEG abnormalities in adolescent males with AD/HD. *Clinical Neurophysiology* 118, 363-371

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

Kaiser DA, Othmer S (2000). Effect of Neurofeedback on Variables of Attention in a large Multi-Center Trial. *Journal of Neurotherapy*, 4, 5-15.

Kinsbourne M (1973). Minimal brain dysfunctions as a neurodevelopmental lag. *Ann N Y Acad Sci*, 205, 268-273

Klimesch W (1997). EEG-alpha rhythms and memory performance. *Journal of Psychophysiology* 26, 319-340

Klimesch W (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain research* 29, 169-195

Kotchubey B, Busch S, Strehl U, Birbaumer N (1999). Changes in EEG Power spectra during biofeedback of slow cortical potentials in epilepsy. *Applied Psychophysiology and biofeedback*, 24 (4), 213-233

Leins U (2004) Train your brain. Durchführung eines Neurofeedbacktrainings für Kinder mit Aufmerksamkeitsdefizit- und/oder Hyperaktivitäts-Impulsivitätsstörung (ADHS). Dissertation, 1-299

Leins U, Hinterberger T, Kaller S, Schober F, Weber C, Strehl U (2006). Neurofeedback der langsamen kortikalen Potenziale und der Theta/Beta – Aktivität für Kinder mit einer ADHS : ein kontrollierter Vergleich. *Prax. Kinderpsychol. Kinderpsychiat.*,55, 392-415

Liu T, Shi J, Zhao D, Yang J (2008). The relationship between EEG band power, cognitive processing and intelligence in school-age children. *Psychology Science Quarterly*, 50(2), 259-268.

Lubar JF, Shouse MN (1976). EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of sensorimotor rhythm (SMR). A preliminary report. *Biofeedback and Selfregulation*, 1(3), 293-306

Lubar JF (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback and Self Regulation*, 16, 201-225

Lubar JF, Swartwood MO, Swartwood JN, O'Donnell PH (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in T.O.V.A. scores, behavioral ratings, and WISC-R performance. *Biofeedback Self Regul.*, 20(1), 83-99

Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N (1985). Überblick über die elektrischen Aktivitäten des Gehirns, In: Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N (Hrsg.) *Das EEG, Psychophysikologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 5-8

Lutzenberger W, Elbert T, Rockstroh B, Birbaumer N (1985a) Ereigniskorrelierte Potentiale-endogene Potentiale, In: Lutzenberger, W.; Elbert, T.; Rockstroh, B.; Birbaumer, N. (Hrsg.) Das EEG, Psychophysiology und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 14-20

Magee CA, Clarke AR, Barry RJ, McCarthy R, Selikowitz M (2005). Examining the diagnostic utility of EEG power measures in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 116, 1033-1040.

Mann C, Lubar JF, Zimmerman A, Miller C, Muenchen R (1992). Quantitative analysis of EEG in boys with attention deficit hyperactivity disorder: controlled study with clinical implications. *Pediatric Neurology*, 8, 30-36

Marosi E, Rodriguez H, Harmony T, Yanez G, Rodriguez M, Bernal J, Fernandez T, Silva J, Reyes A, Guerrero V (1998). Broad band spectral EEG parameters correlated with different IQ measurements. *Internat. J. Neuroscience*, 97, 17-27

Monastra VC, Lubar JF, Linden M, VanDeusen P, Green G, Wing W, Phillips A, Fenger TN (1999). Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: an initial validation study. *Neuropsychology* 13(3), 424-433

Monastra VJ, Monastra DM, 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(4), 231- 249.

Monastra VC, Lynn S, Linden M, Lubar JF, Gruzelier J, LaVaque TJ (2005). Electroencephalographic biofeedback in the treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(2), 95-114

Näpflin M, Wildi M, Sarnthein J (2007). Test-retest reliability of resting EEG spectra validates a statistical signature of persons. *Clinical Neurophysiology* 118, 2519-2524

Niedermeyer E, Da Silva FL (2005). Chapter 9 The Normal EEG of the waking adults. *Basic principles, clinical applications and related fields*, 5th edition

Othmer S, Othmer SF, Clifford SM (1991). EEG Biofeedback Training for Attention Deficit Disorder, Specific Learning Disabilities, and Associated Conduct Problems. *EEG Spectrum* (<http://www.eegspectrum.com/Applications/ADHD-ADD/>)

Otto D, Reiter L (1984). Developmental changes in slow cortical potentials of young children with elevated body lead burden. *Neurophysiological considera-*

- tions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 425:377-83.
- Ray WJ, Cole HW (1985). EEG activity during cognitive processing: influence of attentional factors. *International Journal of Psychophysiology*, 3(1), 43-48
- Rockstroh B, Elbert T, Lutzenberger W, Birbaumer N (1982). The effects of slow cortical potentials on response speed. *Psychophysiology*, 19 (2), 211-217
- Rockstroh B, Elbert T, Lutzenberger W, Birbaumer N(1990). Biofeedback: Evaluation and therapy in children with attentional dysfunctions. In: Rothenberger, Aribert *Brain and Behaviour in child psychiatry*, Springer, 345-357
- Rüsseler J, Heldmann M, Möller J (2005). Ereignisikorrelierte Potentiale in der klinischen Neuropsychologie. *Zeitschrift für Medizinische Psychologie*, 14, 133-144
- Rumpf NA (2005). Neurofeedbacktherapie bei Kindern mit Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Störung: Zusammenhang der langsamen kortikalen Potentiale mit dem EEG-Frequenzspektrum, Inaugural-Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Medizinische Fakultät.
- Schmid RG, Tirsch WS, Scherb H (2002). Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children. *Clinical Neurophysiology*, 113, 1647-1656
- Siniatchkin M, Hierundar A, Kropp P, Kuhnert R, Gerber WD, Stephani U (2000). Self-regulation of slow cortical potentials in children with migraine: An exploratory study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25(1), 13-32.
- Serman MB (1996). Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: Implications for self-regulation. *Biofeedback and Selfregulation*, 21(1), 3-49
- Strehl U, Leins U, Goth G, Klinger C, Hinterberger T, Birbaumer N (2006). Self-regulation of slow cortical potentials: A new treatment for children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics*, 118; 1530-1540
- Tewes U, Rossmann P, Schallberger U. *Hamburg Wechsler Intelligenztest für Kinder, Dritte Auflage (HAWIK III)*. Bern: Huber; 1999.
- Thatcher RW, North D, Biver C (2005). EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology* 116, 2129-2141
- Thompson L, Thompson M (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitiv strategies: effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 23(4), 243-263.

Walter WG (1967). The analysis, synthesis and identification of evoked responses and contingent negative variation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 23 (5), 489

Weiß RH (1987). Grundintelligenztest Skala 2 CFT 20, 3., verbesserte und erweiterte Auflage. Verlag für Psychologie, Dr. C.J. Hogrefe, Göttingen, Toronto, Zürich

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

Zschocke S (2002). Kapitel 4 Die Grundaktivität des normalen EEG. *Klinische Elektroenzephalographie* 2. Auflage, Springer Verlag

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Bezeichnung	Seite
1.1	Vergleich des CNV und Feedback Paradigma	6
2.1	Prinzip des Neurofeedback: Geräteverschaltung	18
2.2	Anordnung der Elektroden nach dem 10/20 System	20
2.3	Bildschirm während einer Negativierungsaufgabe	21
2.4	Belohnung nach erfolgreichem Durchgang	23
3.1	Lernkurve der gesamten Gruppe im Feedback	31
3.2	Lernkurve der gesamten Gruppe im Transfer	33
3.3	Mittelwerte für Feedbackaufgaben der Sitzungen 2+3 und 9+10 im Vergleich	34
3.4	Mittelwerte für Transferaufgaben der Sitzungen 2+3 und 9+10 im Vergleich	36
3.5	Lernverlauf E13	37
3.6	Lernverlauf E01	39
3.7	graphische Darstellung der EEG Veränderungen für die einzelnen Probanden am Beispiel Absolute Power an der Elektrodenposition Fz	44

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle	Bezeichnung	Seite
1.1	Theta/Beta-Quotient in Abhängigkeit von Alter und Subtyp	11
2.1	Zeitlicher Ablauf der Studie	15
2.2	Verwendete Fragebögen und Tests	15
2.3	Überblick über ausgewertete EEG-Werte	27
3.1	Mittelwerte E13	38
3.2	Mittelwerte E01	40
3.3	Statistik Regulierer und Nicht-Regulierer im Feedback	40
3.4	Statistik Regulierer und Nicht-Regulierer im Transfer	40
3.5	Überblick über Gesamt- und Konzentrationsleistung im d2 Test	42
3.6	Auswertung EEG Werte	43
4.1	Gegenüberstellung der Lernverläufe aus Danzer (2005) mit aktueller Studie	47



## IV. Abkürzungsverzeichnis

Abb	Abbildung
ADHS	Aufmerksamkeits-/Hyperaktivitätsstörung
Ag/AgCl	Silber/Silberchlorid
AP	Absolute Power
CFT	Culture Fair Test
CNV	Kontingente negative Variation
DC	Direct current (Gleichstrom)
DiffFB	Differenzierung im Feedback
DiffNegPos	Differenz zwischen Negativierung und Positivierung
DiffTF	Differenzierung im Transfer
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potenziale
EOG	Elektrookulogramm
ERP	Event related potentials
F	Frontal
FB	Feedback
FFT	Fast-Fourier-Transformation
GZ-F	Fehlerbereinigte Gesamtmenge (d2)
HAWIK	Hamburger Wechsler Intelligenztest für Kinder
HEOG	Horizontales Elektrookulogramm
Hz	Hertz
IQ	Intelligenzquotient
J	Jahre
KL	Konzentrationsleistung (d2)
LP	Langsame Potenziale
M	Männlich
Med	Median
Mo	Monate
MW	Mittelwert
$\mu$ V	Mikrovolt
N	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid
NE	Neutrale Groundelektrode
NegFB/FB-	Negativierung im Feedback
NegTF/TF-	Negativierung im Transfer
NF	Neurofeedback
P	p-Wert
P	Posterior
PosFB/FB+	Positivierung im Feedback
PosTF/TF+	Positivierung im Transfer
RefEEG	Referenzelektrode
RP	Relative Power
S1-S10	Sitzungen 1-10
SCP	Slow Cortical Potentials
SDQ	Strengths and Difficulties Questionnaire
SPSS	Superior Performing Software System
StAbw/StA	Standardabweichung

Tab	Tabelle
TAP	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung
TF	Transfer
VEOG	Vertikales Elektroenzephalogramm
W	Weiblich
Z	Zentral
ZNS	Zentrales Nervensystem

---

## V. Danksagung

Auf diesem Weg möchte ich allen danken, die mich bei dieser Arbeit stets unterstützt haben.

**Prof. Dr. Niels Birbaumer** – der diese Arbeit ermöglicht hat.

**PD Dr. Ute Strehl** – ohne die ich so manche Durststrecke nicht so souverän gemeistert hätte. Danke für deine kompetente menschliche wie fachliche Unterstützung und die vielen Stunden, in denen du stets ein offenes Ohr für mich hattest.

Der gesamten Mannschaft von **NeuroConn GmbH**, insbesondere **Dipl.-Ing. Klaus Schellhorn** - für die Unterstützung mit den eldith-Geräten.

**Ellen Stec** – für die Hilfe bei der Datenerhebung.

**Dr. Ulrike Leins, Dr. Nadine Danzer, Dr. Gabriele Goth, Dr. Christoph Klingler** und **Dr. Nicola Rumpf** – deren Arbeiten mir ein Vorbild waren.

**Dipl.-Psych. Lydia Töpferwein und der Kinderambulanz** – für die Hilfe bei der Durchführung der psychologischen Tests.

**Dr. Boris Kotchoubey** – für die Hilfe bei akuten statistischen Fragen.

**Dr. Tina Herberts** – für die Hilfe bei der statistischen Auswertung.

**Hannelore Kümmerle, Angela Straub** und **Sebastian Halder** – die für einen organisatorisch reibungsfreien Ablauf sorgten.

Allen **Kindern, Jugendlichen** und ihren **Eltern**, die sich als Probanden zur Verfügung stellten – ohne sie wäre die Arbeit nicht möglich gewesen.

**Lucia Junk** und **Susanne Gauckler** – ohne Euch wäre das Studium nur halb so schön gewesen.

**Meinen Eltern** – danke, dass ihr immer an mich glaubt und mich in allem unterstützt.

**Meiner Schwester** – die mich auf die Idee gebracht hat Medizin zu studieren und mir stets zur Seite steht.

**Christian** – der mit mir durch Dick und Dünn geht. DANKE!

---

## VI. Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Susan Weber  
Geburtsdatum und -ort: 17.07.1982, Poughkeepsie USA  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### Schulische Ausbildung

1988 -1992 Pestalozzi Grundschule, Stuttgart Vaihingen  
1992- 2001 St.Agnes Gymnasium, Stuttgart; Abitur (1,9)

### Studium

03/2002 – 05/2008 Eberhard Karls Universität Tübingen  
Studiengang Humanmedizin  
1.Abschnitt der Ärztlichen Prüfung 05.04.2004 (3,3)  
2.Abschnitt der Ärztlichen Prüfung 16.05.2008 (2,0)

Reutlingen, den 28.09.2009