

EEG – Feedback für Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS)

Erste Ergebnisse aus einer randomisierten, kontrollierten Pilotstudie

Ute Strehl¹, Ulrike Leins¹, Nadine Danzer¹,
Thilo Hinterberger¹ und Peter F. Schlottke²

¹ Institut für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie, Universität Tübingen

² Psychologisches Institut der Universität Tübingen und Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie der Universität Stuttgart

Zusammenfassung. Die Therapie von Kindern mit einer Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätsstörung (ADHS) mithilfe von EEG-Feedback knüpft an die Annahme einer Beeinträchtigung der zentralnervösen Aktivierungsregulation an. Neben dem bislang praktizierten Feedback zur Veränderung bestimmter EEG-Frequenzen (meistens in den Frequenzbändern von Theta und Beta) wird erstmals in einem einfach-blinden Design eine zweite Methode eingesetzt: das Feedback der langsamen kortikalen Potenziale (LP). Eine erste Auswertung für 19 Kinder, die ein solches LP-Training absolviert haben, sowie für 8 Kinder im Theta-Beta-Feedback, zeigt ein halbes Jahr nach Ende des Trainings für beide Gruppen signifikante Veränderungen im Verhalten, der Aufmerksamkeit sowie in der Ausprägung des Intelligenzquotienten. Der Erwerb von Selbstkontrolle der jeweiligen EEG-Parameter, gemessen als Trefferquote, verläuft hingegen unterschiedlich. Während die LP-Gruppe eine stetige Verbesserung im Verlauf zeigt, ist die Theta-Beta-Gruppe schon in der ersten von drei Trainingsphasen erfolgreich, ohne sich jedoch weiter zu steigern.

Schlüsselwörter: ADHS, EEG-Feedback, langsame kortikale Potenziale, Theta-Beta

EEG feedback for children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). Preliminary results from a randomized, controlled study

Abstract. The rationale for EEG feedback for children with attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) is based on the assumption of a dysregulation of the brain. Feedback of EEG frequencies, which is an established although not well acknowledged method, was compared with feedback of slow cortical potentials (SCP) in a single-blind design. This paradigm has been used for the first time. Results from 19 children who received SCP feedback are reported and compared with data from 8 children who were trained to inhibit theta and to increase beta waves. In both groups, follow-up evaluation 6 months after the end of training showed significant improvement in target behaviors as well as in intelligence scores, and less deficits in attention variables. On the other hand, the groups differed in the way they learned to self-regulate the EEG, assessed as hit rates. While the SCP group demonstrated continuously growing success throughout the course of training, the frequency group was more successful at the beginning of the training and did not show further improvement.

Key words: ADHD, EEG feedback, slow cortical potentials, theta-beta

Die Behandlungsmöglichkeiten für Kinder mit einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung werden derzeit in einer multimodalen, multizentrischen Studie in den USA untersucht. Etwa 600 Kinder werden in vier verschiedenen Gruppen (medikamentöse Behandlung, Verhaltenstherapie, medikamentöse Behandlung mit Verhaltenstherapie, Teilnahme an der üblichen wohnortnahen Versorgung) 14 Monate lang behandelt (Jensen et al., 2001). Es ist vorgesehen, Nachuntersuchungen bis zu zehn Jahre nach Ende der Therapie durchzuführen. Die ersten Evaluationen haben ergeben, dass die Kombination von Medikamentengabe und Verhaltenstherapie die besten Resultate hat und sogar der alleinigen medikamentösen Therapie leicht, wenn auch nicht signifikant

überlegen ist. Patienten in der Kombinationstherapie benötigten zudem eine geringere Dosis (Jensen, 2002). Diese Ergebnisse ermutigen Eltern und Ärzte, die eine Gabe von Medikamenten als alleinige Behandlung hinauszuögern oder vermeiden möchten. Außerdem sind sie eine Herausforderung für Forscher, alternative oder ergänzende Therapien zu evaluieren. Monasträ und Mit-

Wir danken unseren Praktikantinnen Martina Pfeiffer, Cornelia Weber, Sibylle Kossmann-Böhm, Anne Fritz, Gabriela Halaskova, Cecile Norz, Brigitte Vollmann und unserem Praktikanten Georg Kane für ihre tatkräftige Mitarbeit.

Finanziert mit Mitteln der DFG (SFB 550), aus dem AKF-Programm der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen und von der Christoph-Dornier-Stiftung für Klinische Psychologie.

arbeiter (Monastra, Monastra & George, 2002) haben eine Studie vorgelegt, in der sie die Wirksamkeit von Elektroenzephalogramm (EEG)-Feedback untersuchen. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass nur in der Behandlungsgruppe, die zusätzlich zur Medikamentengabe ein eingehendes Betreuungsprogramm in der Schule sowie ein Elterntaining und ein EEG-Feedback erhielt, nach Absetzen der Medikamente positive Veränderungen im Verhalten, in der Aufmerksamkeit und im EEG erhalten bleiben. In einer weiteren Studie (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier & Kaiser, 2003) konnte gezeigt werden, dass nach einer Behandlung mit EEG-Feedback die gleichen positiven Veränderungen eintraten wie in einer parallelisierten Gruppe, die Stimulanzen erhielt.

Mit Biofeedback wird eine Methode bezeichnet, bei der Patienten lernen können, Selbstkontrolle über bestimmte Funktionen ihres Körpers zu erwerben, beispielsweise über die Muskelaktivität, ihre Atmung und ihre Herzrate (Rief & Birbaumer, 2000). Die Ausprägungen solcher Funktionen werden kontinuierlich optisch oder akustisch unter Vorgabe bestimmter Schwellenwerte zurückgemeldet. Veränderungen hin zu den Zielvorgaben wirken im Sinne der operanten Lerntheorie positiv verstärkend, was den Lernprozess fördert und die Selbstkontrolle ermöglicht.

Für ADHS liegen bereits seit den siebziger Jahren Berichte über die erfolgreiche Behandlung mit EEG-Feedback (Neurofeedback) vor (Lubar & Shouse, 1976). In diesen Studien wurden im Wesentlichen zwei Strategien verfolgt: ein Feedback der Aktivität in den Frequenzbändern Theta (Verringerung von 4–8 Hz) und Beta (Steigerung von 13–21 Hz) soll das Gehirn aktivieren und damit Defizite in der Aufmerksamkeit reduzieren; eine Verstärkung des sensomotorischen Rhythmus (12–14 Hz) über dem Motorkortex in der rechten Hemisphäre soll durch eine Hemmung der thalamo-kortikalen Schleife Hyperaktivität verringern. Belege für diese zunächst nur hypothetischen Vorgehensweisen wurden in späteren elektrophysiologischen Untersuchungen geliefert (Monastra et al., 1999). Hier wurde bei ADHS-Kindern im Vergleich zu gesunden Kontrollkindern eine präfrontale Verlangsamung sowie frontal ein niedrigeres Arousal gefunden. Obwohl ein Training in bestimmten Frequenzbändern des EEGs zu stabilen Veränderungen in der Ausprägung des Intelligenzquotienten und der Aufmerksamkeit sowie im schulischen und im Sozialverhalten führte (Lubar, 2003), wird das EEG-Feedback nach wie vor nicht als eine wissenschaftlich evaluierte Methode anerkannt (American Academy of Child and Adolescent Psychiatry [AACAP], 1997). Als Vorbehalte gegen die Ergebnisse solcher Studien werden zu kleine Stichproben, das Fehlen von Kontrollgruppen, unklare diagnostische Kriterien, uneinheitliche Kriteriumsvariablen und fehlende Nachuntersuchungen vorgetragen. Während die letzten drei Einwände auch für Evaluationsstudien anderer Methoden gelten bzw. durch die Studie von Mo-

nastra und Mitarbeitern (Monastra et al., 2002) angemessen aufgegriffen wurden, will die vorliegende Studie das Problem der Kontrollgruppe hinreichend berücksichtigen. Die Einführung einer Kontrollbedingung ist ein dem Biofeedback immanentes Problem. Ein doppel-blindes Design ist nicht möglich, denn es würde voraussetzen, dass selbst der Therapeut, der den Feedbackmodus im Computer auswählt, nicht weiß, was er tatsächlich tut. Ein einfach-blindes Design lässt sich umsetzen, indem dem Patienten entweder eine Rückmeldung gegeben wird, die nichts mit seinem tatsächlichen Verhalten zu tun hat, oder aber indem man eine Bedingung findet, die alternative, möglicherweise ebenfalls zielführende Parameter trainiert. Die zuerst genannte Alternative wird in Anbetracht des mit einem Biofeedback-Training verbundenen Aufwands von den Autoren aus ethischen Gründen abgelehnt, zumal sich die zweite Alternative realisieren lässt, seit die Tübinger Arbeitsgruppe um Birbaumer in den letzten Jahren mit dem so genannten Thought Translation Device (TTD) ein entsprechendes Feedback-System zur Verfügung gestellt hat (Hinterberger, Mellinger & Birbaumer, 2003). Das TTD wurde zunächst für ein Feedback der langsamen kortikalen Potenziale entwickelt und später um das Theta-Beta-Feedback erweitert. Die langsamen Potenziale sind Summenpotenziale ausgedehnter Neuronenverbände und reflektieren das Ausmaß kortikaler Erregbarkeit. Eine elektrisch negative Potenzialänderung (= Negativierung) geht mit einer Herabsetzung der Erregungsschwelle einher, was die Mobilisierung von Verhalten und kognitiven Leistungen ermöglicht. Umgekehrt entspricht eine elektrisch positive Veränderung der Anhebung von Erregungsschwellen. Diese Positivierungen gehen auf der Verhaltensebene mit der Bewältigung von kognitiven Aufgaben (Verbrauch der Mobilisierung) einher oder lassen sich in Ruhezuständen beobachten (Birbaumer, 1998). Rockstroh und Mitarbeiter (Rockstroh, Elbert, Lutzenberger & Birbaumer, 1990) konnten zeigen, dass Kinder mit Aufmerksamkeitsproblemen schlechtere Leistungen in ihrer Fähigkeit zur Selbstkontrolle dieser langsamen Potenziale und eine geringere Negativierung in der Antizipation einer Aufgabe aufweisen als Kinder ohne Beeinträchtigungen in der Aufmerksamkeit. Mit diesem Befund sowie auch auf der Basis einer Reihe anderer Studien, die bei Kindern mit ADHS eine Beeinträchtigung in den ereigniskorrelierten Potenzialen aufgezeigt haben (Barry, Johnstone & Clarke, 2003), ist die empirische Begründung für unseren Ansatz des Feedbacks der langsamen Potenziale für ein einfach-blindes Design zur Überprüfung der Wirksamkeit von EEG-Feedback bei ADHS gegeben. Das Ziel der zurzeit in der Durchführung begriffenen Studie ist ein Vergleich der Fähigkeit von Kindern mit ADHS, die langsamen Potenziale zu kontrollieren mit der Fähigkeit, die Intensität in niederen Frequenzbändern zu reduzieren und in höheren Frequenzbändern zu verstärken. Dabei sollen potenzielle Veränderungen des jeweiligen Trainings auf das Verhalten und die kogni-

tiven Leistungen bis zu einem halben Jahr nach Ende der Therapie verglichen werden. In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse für 19 Kinder berichtet, die das Training der langsamen Potenziale absolviert haben. Sie werden mit den Ergebnissen von 8 Kindern verglichen, die ein Theta-Beta-Feedback erhalten haben.

Nach Abschluss der gesamten Studie sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Können Kinder mit ADHS mithilfe eines psychophysiologischen Trainings Selbstkontrolle über ihre langsamen kortikalen Potenziale (LP) erlangen?
- Können Kinder mit ADHS mithilfe eines psychophysiologischen Trainings lernen, die Aktivität in einzelnen Frequenzbändern zu beeinflussen, d. h. die Theta-Aktivität zu reduzieren und die Beta-Aktivität zu steigern?
- Welche Effekte auf die ADHS-Symptomatik hat ein psychophysiologisches Training, in dem die Kinder lernen, ihre langsamen Potenziale zu negativieren und damit ihr kortikales Erregungsniveau zu steigern?
- Welche Effekte auf die ADHS-Symptomatik hat ein psychophysiologisches Training, in dem die Kinder lernen, ihre Beta-Aktivität zu erhöhen und ihre Theta-Aktivität zu reduzieren?
- Unterscheiden sich die beiden Methoden, LP-Feedback versus Theta/Beta-Feedback, hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Symptomatik?

Methoden

Teilnehmer

Die Teilnehmer werden über ein Informationsblatt rekrutiert, das an Kinderärzte und Kinderpsychotherapeuten des Einzugsgebiets verteilt wurde. Diese Information ist auf der Homepage des Instituts für Medizinische Psychologie und Verhaltensneurobiologie nachzulesen und wird an alle Eltern geschickt, die sich telefonisch an die Psychotherapeutische Hochschulambulanz der Universität Tübingen mit dem Wunsch nach einer diagnostischen Abklärung einer ADHS-Problematik wenden. Alle Interessenten werden mit folgenden Verfahren einem schrittweisen Screening unterzogen:

- Anamnesefragebogen zur kindlichen Entwicklung
- Fragebogen zu den DSM-IV-Kriterien für Eltern
- Fragebogen für Lehrer/innen (Anders & Bahn Müller, 1999) mit sechs Dimensionen (Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität, Impulsivität, Emotionalität, Intellektuelle Leistung, Sozialverhalten)
- Fragebogen zur Problembelastung und zum Erziehungsverhalten nach Eyberg und Pincus (1999)
- Eigene Übersetzung der Conners' Rating Scale (Conners, 1997)

- Kindl-Fragebögen zur Lebenszufriedenheit; Versionen für Eltern und Kinder (Ravens-Sieberer, 2003)
- Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP), Version 1.7 (Zimmermann & Fimm, 2002)
- Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder: HAWIK-III (Tewes, Rossmann & Schallberger, 1999)

Neben der Erfüllung der DSM-IV – Kriterien gelten folgende Auswahlkriterien:

- Alter: 8–13 Jahre
- IQ > 80
- keine andere neurologische oder psychiatrische Erkrankung

Eltern und Kinder unterschreiben eine Einverständniserklärung nach der Konvention von Helsinki. Bei der randomisierten Zuweisung zu den beiden Experimentalgruppen wird eine Parallelisierung nach Subtyp, Alter, Geschlecht und Intelligenzquotient vorgenommen.

Tabelle 1 enthält die Daten der Kinder, die das Training abgeschlossen haben. Dabei ist anzumerken, dass in beiden Gruppen Kinder enthalten sind, deren „Partner“ die Therapie oder die Nachuntersuchung noch nicht abgeschlossen haben. Es ist geplant, in beiden Gruppen je 20 Kinder zu trainieren.

Das Training

Die Kinder werden einer von zwei Experimentalgruppen zugewiesen. Beide Gruppen sollen lernen, ihr Gehirn gemäß einer auf einem Monitor erscheinenden Aufgabenstellung zu aktivieren oder zu deaktivieren (s. Abb. 1). Die beiden Bedingungen unterscheiden sich im Hinblick auf die EEG-Parameter, die erfasst und zurückgemeldet werden. Näheres dazu wird unter dem Abschnitt LP-Feedback bzw. Theta-Beta-Feedback beschrieben.

Das Training erstreckt sich über drei Phasen à zehn Sitzungen (Abb. 2). Die Prozedur in einer Sitzung an jedem einzelnen Trainingstag und der Verlauf des Programms sind weitgehend identisch. Pro Trainingstag absolvieren die Kinder im Schnitt vier Blöcke mit je 38 Durchgängen. Die Abfolge der Aktivierungs- und Deaktivierungsaufgaben ist pseudorandomisiert mit einem Anteil von je 50% in den Sitzungen 1 bis 15, während in den Sitzungen 16 bis 30 der Anteil der Aktivierungsaufgaben auf 75% erhöht wird. Da die Kinder von Anfang daran gewöhnt werden sollen, die Regulation auch ohne die Rückmeldung des Computers anzuwenden, sind 23% der Durchgänge ohne Feedback. Auf dem Bildschirm ist in diesen Transferdurchgängen nur die Aufgabe, aber kein „Ball“ (Rückmeldesignal) zu sehen.

Die Kinder sind darüber informiert, dass sie mithilfe des Trainings lernen können, ihr Gehirn „in Form“ zu bringen. Wenn sie das schaffen, so wird ihnen gesagt, können sie dies auch in Situationen einsetzen, in denen

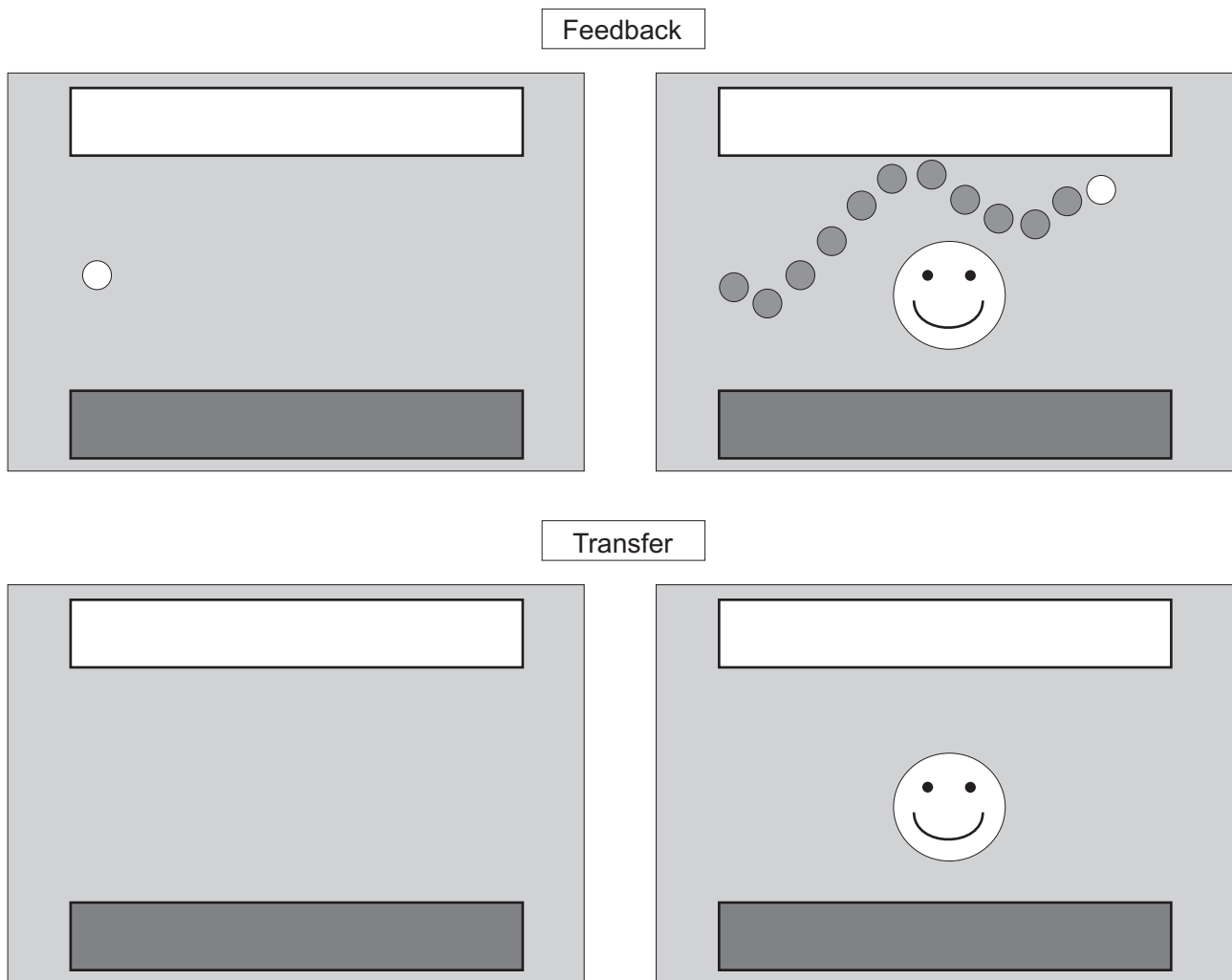


Abbildung 1. Bildschirm zu Beginn (links) und am Ende (rechts) eines erfolgreichen Durchgangs mit der Aufgabenstellung „Aktivieren“. Obere Reihe mit Feedback, untere Reihe ohne Feedback = Transferbedingung.

Tabelle 1. Alter, Geschlecht und krankheitsbezogene Merkmale der Teilnehmer

Gruppe	LP (N = 19)	Theta-Beta (N = 8)
Alter	9,1	8,8
Geschlecht	78,9% männlich	85,7% männlich
Diagnose	ADHS 16, ADD 3	ADHS 6, ADD 2
Vorherige Therapie	68,4%	64,3%
Medikation	36,8%	21,4%

Anmerkungen: LP: Langsame Potenziale; ADHS: Aufmerksamkeits-/Hyperaktivitätsstörung; ADD: Aufmerksamkeitsstörung

sie üblicherweise Schwierigkeiten haben, wie zum Beispiel beim Zuhören, bei planvollem Handeln, bei Hausaufgaben oder Klassenarbeiten. Um die Übertragung des „Gehirntrainings“ in den Alltag zu fördern, wird für

die Pausen zwischen den Trainingsphasen eine Vereinbarung getroffen, wonach die Kinder in definierten Situationen versuchen, die Aktivierung herzustellen. In der dritten Trainingsphase bearbeiten sie im Anschluss an

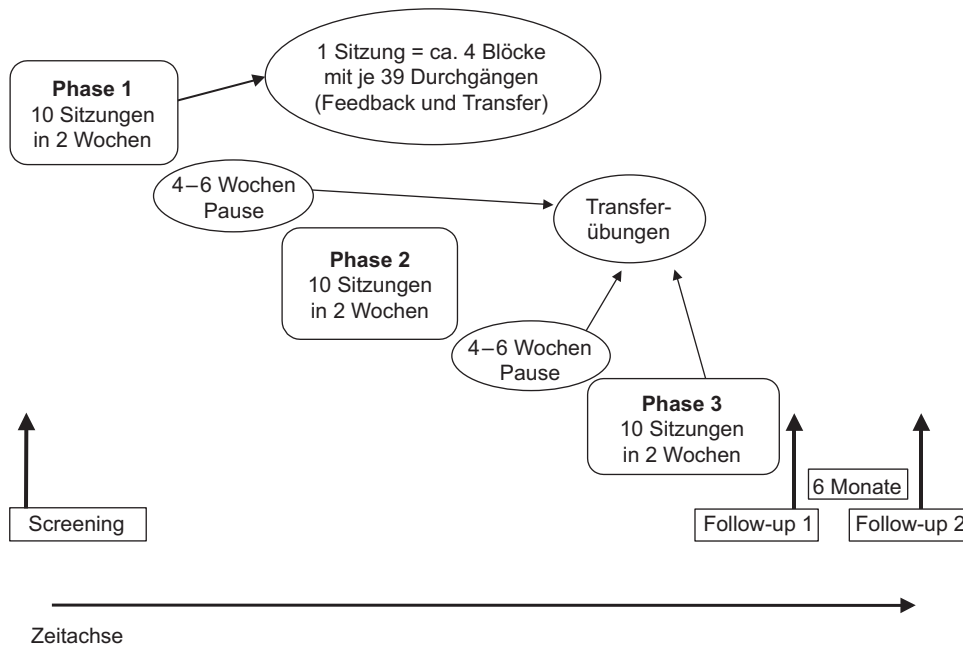


Abbildung 2. Ablauf des Trainingsprogramms mit den Zeitpunkten der Evaluation.

die Feedbacktrainingssitzung jeweils 20 Minuten lang Hausaufgaben oder Übungen, die ihrem Lernstoff entsprechen. Dabei ist ein Betreuer anwesend und hält das Kind dazu an, in kurzen Abständen auf eine 3×5 cm große Karte mit dem Abbild des Trainingsbildschirms zu schauen und dabei den „Ball in das obere Tor zu schießen“, das heißt, das Gehirn zu aktivieren. Diese Karte bekommt das Kind mit nach Hause, um sie bei Bedarf einzusetzen.

Der Ablauf einer einzelnen Sitzung ist wie folgt: Das Kind nimmt im Labor auf einem bequemen Stuhl Platz. Die Haut an den Elektrodenpositionen wird mit einer Reinigungspaste vorbereitet, die Silber-Silberchlorid-elektroden werden mit einer leitfähigen Elektrodenpaste (Elefix) gefüllt. Das EEG wird nach dem internationalen 10–20 System abgeleitet. Die Elektroden werden in Abhängigkeit von der Trainingsmodalität und der Sitzung in zwei verschiedenen Varianten montiert: bei Cz oder aber bei Cz und 4 umliegenden Elektroden (Hjorth, 1975), die auf jeweils der Hälfte der Distanz zu C3-F3, C4-F4, C3-P3 und C4-P4 angebracht werden (für das Theta-Beta-Training sowie die erste und letzte Sitzung einer jeden Trainingsphase im LP-Training). Als Referenz dienen die gemittelten Signale der Elektroden an den Mastoiden. Für ein vertikales Elektrookulogramm werden zwei Elektroden oberhalb und unterhalb eines Auges angebracht. Zur Erdung wird eine Elektrode auf der Stirn befestigt.

Vor dem Kind befindet sich der Bildschirm, auf dem die jeweilige Aufgaben erscheinen. Leuchtet das obere

Tor auf, so soll es sein Gehirn aktivieren, während es bei einem Aufleuchten des unteren Tors eine Deaktivierung bzw. Hemmung der Aktivierung anstreben soll. In der Feedback-Bedingung informiert der Ball das Kind, wie gut es die Aufgabe momentan bewältigt, unter Transfer-Bedingungen entfällt diese Information. Parallel zu diesem visuellen Feedback wird sowohl die Aufgabe („hoch“ bzw. „tief“) als auch der Verlauf des Potenzials (Tonleiter nach oben oder unten) akustisch mitgeteilt. Am Ende eines jeden erfolgreichen Durchgangs wird ein lachendes Gesicht („Smiley“) gezeigt und eine Tonfolge gespielt. Nach jeder Sitzung werden die Smileys in Punkte umgewandelt und in eine Belohnungskarte eingetragen. Volle Belohnungskarten können gegen kleine Geschenke im Wert von etwa EUR 1.50 getauscht werden. Das Umrechnungssystem der Smileys in Punkte wurde anhand der Erfahrungen mit den ersten Kindern im LP-Training so gestaltet, dass die Karten im Schnitt an jedem dritten Trainingstag voll werden.

Der Trainer/die Trainerin befindet sich im benachbarten Raum, von wo aus das Programm gesteuert wird. Über eine Videokamera kann das Kind beobachtet werden; ferner besteht eine wechselseitige Sprechverbindung.

Der EEG-Verstärker (EEG 8, Contact Precision Instruments) ist mit einem PC verbunden, von wo aus die Feedback-Programme als Anwendungen des „Thought Translation Device“ (Hinterberger et al., 2000) angesteuert werden.

Feedback der langsamen kortikalen Potenziale

Jeder Durchgang dauert insgesamt acht Sekunden, am Ende der ersten zwei Sekunden wird die Baseline erhoben, mit der die Amplitude des langsamen Potenzials in der folgenden, sechs Sekunden dauernden Feedback- oder Transferphase („aktive Phase“) verglichen wird. Ausführliche Informationen zur Signalverarbeitung finden sich in Birbaumer, Strehl und Hinterberger (2004). Zu Beginn der aktiven Phase wird die Aufgabe gezeigt (Aufleuchten des oberen oder unteren Tors bzw. Stimme „hoch“ oder „tief“), am Ende erscheint im Fall des Erfolgs der Smiley und die Tonfolge ist zu hören. Als Erfolg werden alle Amplituden gewertet, die die Baseline über- bzw. unterschreiten.

Theta-Beta-Feedback

Der Aktivierung der Hirntätigkeit (oberes Tor) durch eine Negativierung der langsamen Potenziale entspricht beim Theta-Beta-Feedback die Zunahme der Häufigkeit von Beta-Frequenz-Anteilen und die Abnahme von Theta-Frequenzen. Analog zur Positivierung beim LP-Training wird im Theta-Beta-Feedback eine Verringerung der Beta- und eine Erhöhung der Theta-Anteile angestrebt.

Für Beta ist der Frequenzbereich 14–21 Hz, für Theta 4–8 Hz gewählt. Im Unterschied zum LP-Feedback wird wegen der mit größerer Variabilität auftretenden Oszillationen in den Frequenzbändern beim Theta-Beta-Feedback eine längere Baseline benötigt. Aus diesem Grund unterscheidet sich die zeitliche Struktur der Durchgänge der Trainingsmodalität geringfügig. Im Theta-Beta-Feedback wird vor dem allerersten Block eines jeden Trainingstags zusätzlich eine längere Phase (8 Sekunden) zu der bei jedem Durchgang kurzen Phase (im Zeitraum von 0–2 s) als Baseline genommen. Diese Daten werden addiert und als Referenzgröße für den ersten Durchgang gewählt. Die Referenzgröße wird dann sukzessiv mit jeder Baseline aktualisiert, die zu Beginn der nachfolgenden Durchgänge erhoben wird. Als erfolgreich werden alle Durchgänge gewertet, in denen die Theta-Beta-Anteile der Baseline über- oder unterschritten werden.

Abhängige Variablen

Im Rahmen der vorliegenden Auswertung betrachten wir folgende Parameter:

- EEG: Trefferquoten für die jeweiligen Aufgaben (aktivieren, deaktivieren) und Bedingungen (Feedback, Transfer);
- Verhalten: Einschätzung des Verhaltens gemäß den Kriterien des DSM-IV durch Eltern und Lehrer. Die Lehrer schätzen zusätzlich die schulischen Leistungen, das Sozialverhalten und den Selbstwert der Kinder ein.

- Kognitive Variablen: Aufmerksamkeitsleistungen und Intelligenz.

Ergebnisse

Dieser Veröffentlichung liegt eine Studie zugrunde, die noch nicht abgeschlossen ist. In der hier vorgestellten Auswertung sind alle Kinder berücksichtigt, für die bereits die abschließende Nachuntersuchung (sechs Monate nach Ende der Therapie) vorliegt (19 Kinder in der LP-Gruppe; 8 Kinder in der Theta-Beta-Gruppe). Die Evaluation erfolgt unmittelbar nach Abschluss des Trainings sowie ein halbes Jahr danach mit denselben Instrumenten wie im Screening. Wenn nicht anders beschrieben, wurde zur Datenanalyse eine ANOVA für die Gruppen (LP vs. Theta-Beta-Feedback) mal Messwiederholung (drei Trainingsphasen und eine Nachuntersuchung) mit dem SPSS, Version 11 berechnet.

Feedback-Training

Trefferquoten

Trefferquoten sind der prozentuale Anteil, zu dem ein Kind pro Block gemäß der Aufgabenstellung (aktivieren, deaktivieren) richtig reagiert hat. Sie sind für die Bedingungen (Feedback, Transfer) sowie die drei Trainingsphasen und die Nachuntersuchung getrennt dargestellt. In den 2×4 -faktoriellen Varianzanalysen wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen und Trainingsphasen für die Aktivierungsaufgaben unter beiden Bedingungen gefunden (s. Abb. 3). Für die Feedback-Bedingung zeigt sich ein hochsignifikanter Effekt für Phase mal Gruppe ($F(3, 69) = 4,8, p = .009$), der auf die signifikanten Effekte für die Phasen in der LP-Gruppe ($F(3, 48) = 6,37, p = .003$) zurückzuführen ist. Am deutlichsten ist der Unterschied zwischen der ersten Trainingsphase und der Nachuntersuchung ($t(16) = 3,38, p = .004$). Für die Transferbedingung wurde ein signifikanter Effekt für den Faktor Gruppe gefunden ($F(1, 23) = 8,8, p = .007$), die Leistungen in den Phasen unterscheiden sich tendenziell ($F(3, 69) = 2,9, p = .06$).

Verhalten

In der Einschätzung des kritischen Verhaltens durch die Eltern ergab sich in 2×3 -faktoriellen Varianzanalysen mit dem unabhängigen Faktor „Gruppe“ und dem abhängigen Faktor „Messwiederholung“ (prä/post/follow-up) für beide Gruppen eine signifikante Reduktion in der Hyperaktivität ($F(2, 42) = 4,45, p = .021$), aber keine Verbesserung in der Unaufmerksamkeit. Die Lehrer (Lehrerfragebogen) sahen in beiden Gruppen gleichermaßen sig-

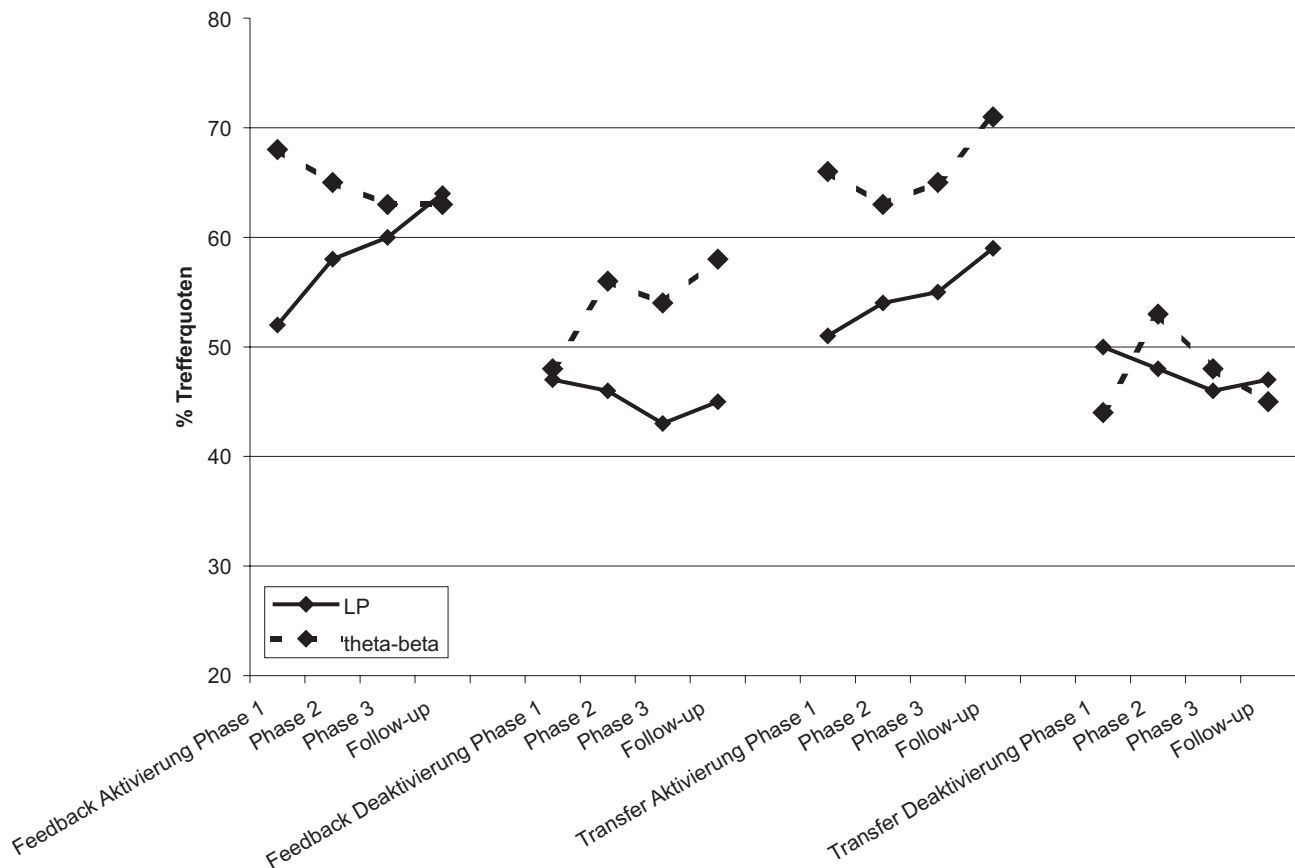


Abbildung 3. Trefferquoten für die LP-Gruppe ($N=17$) und die Theta-Beta-Gruppe ($N=8$) getrennt nach Aufgabenstellungen (aktivieren, deaktivieren) und nach Bedingung (Feedback, Transfer) für alle drei Trainingsphasen und die Nachuntersuchung sechs Monate nach Abschluss des Trainings.

nifikante Verbesserungen in den Skalen Hyperaktivität ($F(2, 42)=6,05, p=.007$), Impulsivität ($F(2, 42)=8,1, p=.002$) und Sozialverhalten ($F(2, 42)=13,44, p\leq .001$; vgl. Abb. 4). Keine Veränderungen fanden sich auf den Skalen Emotionalität, Selbstwert und intellektuelle Leistung.

Kognitive Variablen

Für beide Gruppen finden sich hochsignifikante bis signifikante Verbesserungen in Aufmerksamkeitsfunktionen der TAP ($F(2, 48)=12,58, p\leq .001$) und im Intelligenzquotienten gemessen durch den HAWIK-III (s. Abb. 5). Die Veränderung im Gesamt-IQ vom Zeitpunkt der Erstuntersuchung bis zur abschließenden Nachuntersuchung ist signifikant ($F(1, 25) 4,32, p=.04$), im Handlungsteil ist der Unterschied besonders stark ausgeprägt ($F(1, 25)=15,83, p=.001$). Der Zeitraum zwischen den beiden Messungen betrug mindestens 40 Wochen.

Diskussion

Die ersten Ergebnisse dieser Pilotstudie zeigen, dass ein Training der langsamen kortikalen Potenziale als einfach-blinde Bedingung im Rahmen einer Überprüfung der Wirksamkeit von EEG-Feedback bei Kindern mit ADHS einsetzbar ist. Ein Vergleich mit der bislang verwendeten Methode (Lubar, 2003), dem Feedback von Theta-Beta-Frequenzen zeigt, dass beide Methoden zu denselben Ergebnissen führen: Sie verringern gemäß dem Urteil der Eltern und der Lehrer die Hyperaktivität sowie die Impulsivität und verbessern das Sozialverhalten in der Schule. Ferner zeigt sich nach dem Training eine Verbesserung in der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung sowie im HAWIK III.

Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zeigen sich im Verlauf des Lernprozesses. Im Theta-Beta-Training liegen die Trefferquoten in der Aktivierungsaufgabe unter Feedback bereits in der ersten Trainingsphase bei knapp 68%, im weiteren Verlauf fallen sie auf 63% ab.

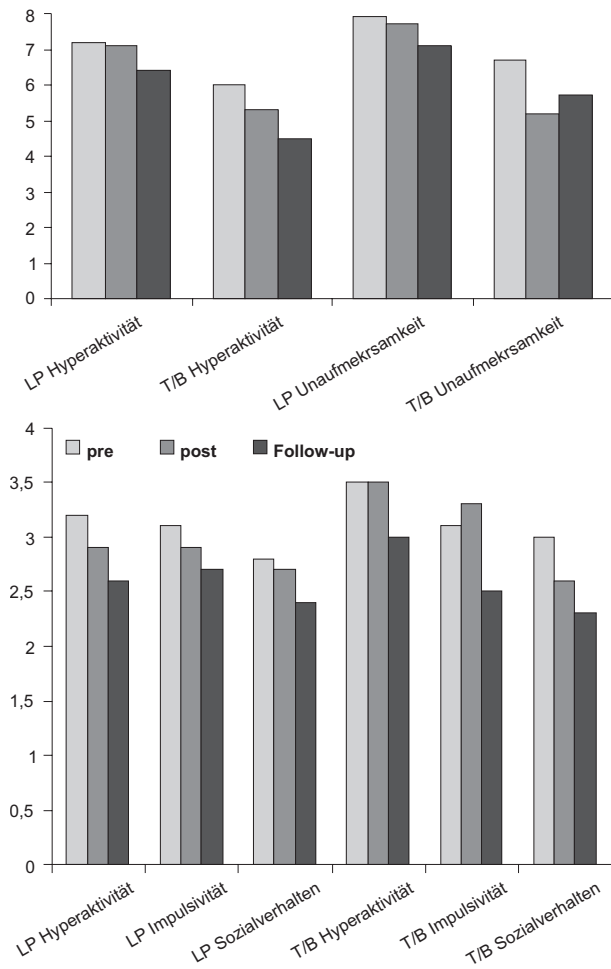


Abbildung 4. Verhaltensbeurteilungen durch die Eltern (obere Reihe) und Lehrer (untere Reihe) für 17 Kinder im LP-Training und 6 Kinder mit Theta-Beta-Training vor und nach dem Training sowie sechs Monate nach Abschluss des Trainings.

Die LP-Gruppe hingegen beginnt mit einer Trefferquote von 52%, die knapp über dem Zufall liegt, und steigert sich dann signifikant auf 64%. Die bessere Leistung der Theta-Beta-Gruppe in der Aktivierungsaufgabe unter der Transferbedingung weist darauf hin, dass es möglicherweise leichter ist, die Frequenzen zu kontrollieren als die langsamen kortikalen Potenziale. Es stellt sich allerdings die Frage, weshalb die Kinder dieser Gruppe ihre Leistung nicht gesteigert haben. Möglicherweise erhielten sie im Vergleich zu den Kindern der anderen Gruppe zu schnell zu viele Verstärker, was zu einer Schwächung der Motivation führte. Schwer lässt sich das Ausbleiben von Erfolgen in den Deaktivierungsaufgaben erklären. Hier schwanken die Trefferquoten um den Zufallsbereich herum. Nach den Befunden der elektroenzephalographischen Studien (Monastra et al., 1999) wäre zu erwarten gewesen, dass die Kinder diesen Zustand leichter herstellen können, da er dem pathologischen (Ausgangs-) Zu-

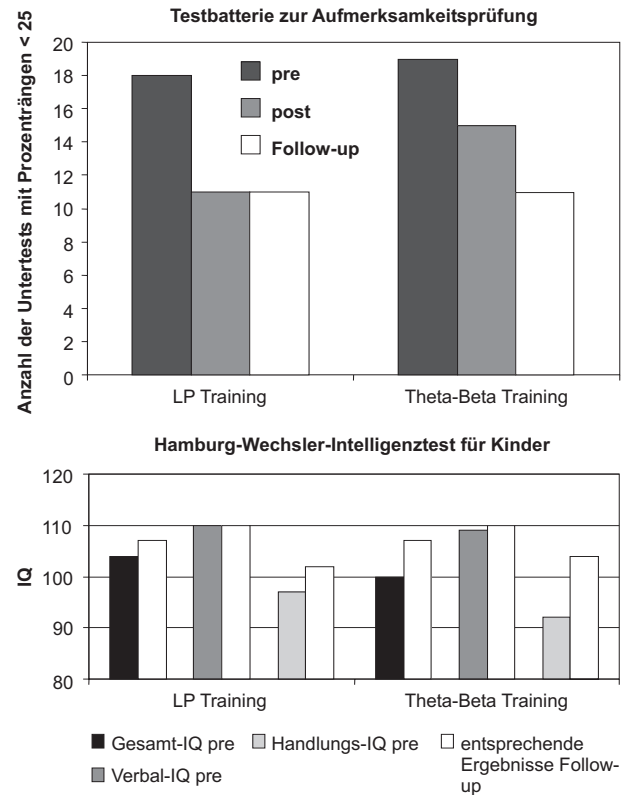


Abbildung 5. Vergleich der Leistungen in der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung für 18 Kinder im LP-Training und 8 Kinder mit Theta-Beta-Training vor und nach dem Training sowie sechs Monate nach Abschluss des Trainings (obere Reihe) sowie im HAWIK für 19 Kinder im LP-Training und 8 Kinder mit Theta-Beta-Training vor dem Training sowie sechs Monate nach Abschluss des Trainings (untere Reihe).

stand ihres Gehirns entspricht. Eine vorerst nicht zu belegende Erklärung könnte darin liegen, dass dieser Zustand subjektiv als unangenehm empfunden wird. Die Ursache könnte aber auch in der Zahl der Aufgaben liegen: mit Fortschreiten des Trainings wurde der Anteil Aktivierung zu Deaktivierung zugunsten der ersteren verändert. Damit bestand mehr Gelegenheit, die Aktivierung zu üben. Darüber hinaus wurden die Kinder von Anfang darauf hingewiesen, dass die Aktivierung der Zustand ist, der ihnen bei der Überwindung ihrer Probleme helfen kann. Zu einer zusätzlichen Beurteilung der Lernresultate sollen die Veränderungen im EEG hinzugezogen werden, was nach Vervollständigung der beiden Gruppen erfolgen wird.

Die positiven Veränderungen im Verhalten entsprechen den Ergebnissen anderer EEG-Feedbackstudien (Fuchs et al., 2003; Monastra et al., 2002) und multimo-

daler Studien (Jensen, 2002). In der Anzahl der gebesserten Maße sind sie ihnen sogar überlegen. Unterschiede zu diesen Befunden bestehen darin, dass die Effekte in der vorliegenden Studie sogar noch sechs Monate nach Ende des Trainings erhalten sind. Ferner wurden in der vorliegenden Studie während des Trainings keine begleitenden therapeutischen Maßnahmen wie Verhaltenstherapie für die Kinder, Elterntraining oder eine spezielle Förderung des schulischen Verhaltens angeboten. Die Tatsache, dass einige Kinder während des Trainings mit Stimulanzien behandelt wurden, wird derzeit einer näheren Analyse unterzogen.

Zusätzliche Erkenntnisse nach Auswertung aller Daten werden auch deshalb erwartet, weil bei den hier vorgestellten Ergebnissen die Zahl der Kinder in den beiden Gruppen sehr unterschiedlich ist. Bei einer größeren Fallzahl in der Theta-Beta-Gruppe könnten sich noch Unterschiede ergeben, die bislang so nicht erkennbar sind. Zunächst kann das einfach-blinde Design die Frage noch nicht beantworten, ob das Feedback oder andere Bedingungen des Trainings den Erfolg bewirken. Für die zukünftige Forschung wäre dann zum Beispiel weitere Kontrollbedingung vorzusehen, wie zum Beispiel ein Computerspiel, das keine direkte Selbstkontrolle von Parametern des EEGs anstrebt.

Unabhängig von diesen weiteren Befunden und Überlegungen lassen sich für die Praxis bereits folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Nach einem EEG-Feedback-Training zeigt sich bei Kindern mit ADHS eine anhaltende Verbesserung in einigen, für die Störung typischen Problembereichen.
- Diese Verbesserungen erfolgten ohne dass andere therapeutische Elemente wie Verhaltenstherapie oder Elterntraining realisiert werden mussten.
- Damit ist eine Therapiemethode verfügbar, die möglicherweise alternativ zur Behandlung mit Stimulanzien eingesetzt werden kann.

Literatur

- American Academy of Child and Adolescent Psychiatry (AACAP) (1997). Practice Parameters for the Assessment and Treatment of Children, Adolescents, and Adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 36, 85–121.
- Anders, A. & Bahnmüller, H. (1999). *Fragebogen für Lehrer/innen*. Unveröffentlicht. Universität Tübingen.
- Barry, R. A., Johnstone, S. J. & Clarke, A. R. (2003). A review of electrophysiology in attention-deficit/hyperactivity disorder: II. Event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 114, 184–198.
- Birbaumer, N. (1998). Selbstregulation langsamer Hirnpotentiale. *Neuroforum*, 2, 190–203.
- Birbaumer, N., Strehl, U. & Hinterberger, T. (2004). Brain-computer interfaces for verbal communication. In K. W. Horch & G. S. Dhillon (Eds.), *Neuroprosthetics*. New Jersey: World Scientific.
- Conners, C. K. (1997). *Conner's Rating Scales – revised; technical manual*. North Tonawande: Multi-Health Systems.
- Eyberg, S. & Pincus, D. (1999). *Eyberg Child Behavior Inventory & Sutter-Eyberg Student Behavior Inventory – Revised*. Psychological Assessment Resources, Odessa: Psychological Assessment Resources.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J. H. & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in children: A comparison with Methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28, 1–12.
- Hinterberger, T., Kotchoubey, B., Kaiser, J., Kübler, A., Neumann, N., Perelmouter, J., Strehl, U. & Birbaumer, N. (2000). Anwendungen der Selbstkontrolle langsamer kortikaler Potentiale. *Verhaltenstherapie*, 10, 219–227.
- Hinterberger, T., Mellinger, J. & Birbaumer, N. (2003). The Thought Translation Device: Structure of a multimodal brain-computer communication system. In *Proceedings of the 1st International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering* (pp. 603–606). Capri Island, Italy.
- Hjorth, B. (1975). An on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, 526–530.
- Jensen, P. (2002). Longer term effects of stimulant treatments for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Attention Disorders*, 6, 45–56.
- Jensen, P. S., Hinshaw, S. P., Swanson, J. M., Greenhill, L. L., Conners, C. K., Arnold, L. E., Abikoff, H. B., Elliott, G., Hechtman, L., Hoza, B., March, J. S., Newcorn, J. H., Severe, J. B., Vitiello, B., Wells, K. & Wigal, T. (2001). Findings from the NIMH Multimodal Treatment Study of ADHD (MTA): Implications and applications for primary care providers. *Developmental and Behavioral Pediatrics*, 22, 60–73.
- Lubar, J. F. (2003). Neurofeedback for the management of Attention Deficit Disorder. In M. S. Schwartz & F. Andrasik (Eds.), *Biofeedback. A Practitioner's Guide* (3. ed., pp. 409–437). New York: Guilford.
- Lubar, J. F. & Shouse, M. N. (1976). EEG and behavioral changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR). A preliminary report. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1, 293–306.
- Monastra, V. J., Linden, M., Van Deusen, P., Green, G., Wing, W., Phillips, A. & Fenger, T. N. (1999). Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography. *Neuropsychology*, 13, 424–433.
- Monastra, V. J., Monastra, D. M. & George, S. (2002). The effects of stimulant therapy, EEG Biofeedback, and parenting style on the primary symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 27, 231–249.
- Ravens-Sieberer U. (2003). Der Kindl-R Fragebogen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen – Revidierte Form. In J. Schumacher, A. Klaberg & E. Brähler (Hrsg.), *Diagnostische Verfahren zu Lebensqualität und Wohlbefinden* (S. 184–188). Göttingen: Hogrefe.
- Rief, W. & Birbaumer, N. (2000). *Biofeedback Therapie: Grundlagen, Indikation und praktisches Vorgehen*. Stuttgart: Schattauer.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1990). Biofeedback: evaluation and therapy in children

with attentional dysfunctions. In A. Rothenberger (Ed.), *Brain and behavior in child psychiatry* (pp. 345–355). Berlin: Springer.

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

Zimmermann, P. & Fimm, B. (2002). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP)*. Version 1.7. Handbuch – Teil 1. Herzogenrath: Psytest.

Dr. rer. soc. Ute Strehl
Dipl.-Psych. Ulrike Leins
Cand. med. Nadine Danzer
Dr. rer. nat. Thilo Hinterberger

Institut für Medizinische Psychologie
und Verhaltensneurobiologie
Universität Tübingen
Gartenstraße 29
72074 Tübingen

Professor Dr. rer. soc. Peter Schlottke

Psychologisches Institut
Universität Tübingen
Gartenstraße 29
72074 Tübingen