

Veränderungen in der elektrischen Hirnaktivität beim Wahrnehmungslernen

Semesterarbeit

Fachbereich Psychologie
Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von
Judith Nitsch

Betreuer: Prof. Dr. W. Skrandies

Giessen, November 2005

Zusammenfassung

Wahrnehmungslernen ist eine Form des impliziten Lernens und zeigt sich meist in veränderten Wahrnehmungsschwellen oder Veränderungen in der elektrischen Hirnaktivität die durch Training hervorgerufen werden. Wahrnehmungslernen ist stimuluspezifisch, das heißt, wenn jemand eine Aufgabe mit einem bestimmten Reiz trainiert, so zeigen sich Veränderungen durch das Training auch nur in Bezug auf diesen Reiz und nicht in Bezug auf ähnliche Reize.

Mit der vorliegenden Untersuchung sollte dieses Phänomen der Stimuluspezifität beim Wahrnehmungslernen näher untersucht werden. Weiterhin sollten als eine Erweiterung der Untersuchung von Shoji und Skrandies (2005) die Veränderungen in der elektrischen Hirnaktivität durch Wahrnehmungslernen geprüft werden. Die Versuchspersonen in der vorliegenden Untersuchung lösten eine Wahrnehmungsaufgabe. Als Reize dienten zwei Arten von Nonien, die sich in ihrer Exzentrizität von einem Fixationspunkt unterschieden. Die Personen trainierten mit nur einer Art der Nonien. Mit der anderen Art von Nonien wurde überprüft, ob sich der Lerneffekt auf diese ähnlichen Reize überträgt.

Es konnte festgestellt werden, dass die Versuchspersonen ihre Leistungen in der Wahrnehmungsaufgabe nach einigen Wiederholungen verbesserten, sich dieser Lerneffekt aber nicht auf ähnliche Reize übertrug.

Es konnte in der elektrischen Hirnaktivität eine Zunahme der Global Field Power für den Trainingsreiz festgestellt werden und für den Kontrollreiz eine Abnahme. Die Befunde sind in der vorliegenden Untersuchung nicht so deutlich wie sie es bei Shoji und Skrandies (2005) sind, entsprechen diesen aber insgesamt.

Topographische Veränderungen in der elektrischen Hirnaktivität durch das Training konnten zwar gefunden werden, jedoch sind sie kaum mit den Befunden von Shoji und Skrandies (2005) vergleichbar.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Theorie	3
1.1 Was ist Wahrnehmungslernen?	3
1.2 Stimulusspezifität beim Wahrnehmungslernen	4
1.3 Elektrophysiologie	6
1.4 Hypothesen	7
2. Methode	8
2.1 Übersicht über das Experiment	8
2.2 Versuchspersonen	9
2.3 Reizmaterial	9
2.4 Versuchsplan	11
3. Ergebnisse	14
3.1 Ergebnisse Psychophysik	14
3.2 Ergebnisse Elektrophysiologie	15
3.2.1 <i>Globale Vergleiche</i>	17
3.2.1.1 <i>Veränderungen der Amplitude der GFP</i>	17
3.2.1.2 <i>Beurteilung der Veränderungen der neuronalen Aktivität anhand von T- Werten</i>	19
3.2.1.3 <i>Centroide</i>	22
3.2.2 <i>Bestimmung und Analyse einzelner Komponenten</i>	24
3.2.2.1 <i>Veränderungen im zeitlichen Verlauf der GFP</i>	24
3.2.2.2 <i>Vergleich der GFP-Amplituden in den gefundenen Komponenten</i>	25
3.2.2.3 <i>Vergleich der Schwerpunktverschiebungen innerhalb der gefundenen Komponenten</i>	26
4. Diskussion	26
4.1 Psychophysik	26
4.2 Elektrophysiologie	26
4.2.1 <i>Vergleich der gefundenen Komponenten des visuell evozierten Potentials</i>	26
4.2.2 <i>Topographische Veränderungen</i>	29
Literatur	31
Anhang A: Aushang zur Anwerbung der Versuchspersonen	32

1. Theorie

1.1 Was ist Wahrnehmungslernen?

„Unter Wahrnehmungslernen versteht man eine relativ konsistente Veränderung der Wahrnehmung, hervorgerufen durch Training, die sich meist in Veränderungen von Wahrnehmungsschwellen oder Veränderungen in der Hirnaktivität messen lassen.“ (Fahle, 2004). Gibson (1963) definiert das perzeptuelle Lernen ähnlich: „Jede relativ konsistente Veränderung in der Wahrnehmung eines Stimulus durch Training oder Erfahrung kann als perzeptuelles Lernen verstanden werden.“ (zitiert nach Fahle und Poggio. (2002). *Perceptual Learning*. S.ix)

Beim Wahrnehmungslernen handelt es sich um eine Art des impliziten Lernens. Das implizite Lernen unterscheidet sich von anderen Lernprozessen hauptsächlich darin, dass es unbewusst geschieht. Eine Person muss sich nicht aktiv bemühen, etwas zu lernen. Sie muss nicht auf bestimmte Lernstrategien zurückgreifen, wie zum Beispiel das ständige Wiederholen, Einprägen und Abrufen beim Lernen von Vokabeln. Im Gegenteil: Personen, die etwas implizit gelernt haben, können später nicht beschreiben, wie sie gelernt haben, warum sie die Aufgabe plötzlich besser lösen können. Das veränderte Verhalten nach dem Lernen benötigt keine Erinnerungen. Beim Auswendiglernen oder beim Erlernen von Tätigkeiten wie dem Autofahren ist es zu Beginn notwendig, dass man sich an zuvor Gelerntes (Vokabeln oder Verkehrsregeln) erinnert und dann danach handelt (Verwendung der richtigen Vokabel oder Anhalten an einer roten Ampel). Dies ist beim impliziten Lernen nicht der Fall. Man spricht hier auch von einem impliziten Gedächtnis und meint damit, dass das Gelernte, das zum Handeln notwendig ist, sicher in irgendeiner Form gespeichert wurde, man es aber nicht bewusst abrufen muss um den gewünschten Handlungserfolg zu erzielen. (Perrig, 1996)

Mit der Forschung zum Wahrnehmungslernen versuchen Wissenschaftler (unter anderem) diesen Prozess des Speicherns genauer zu beschreiben. Was passiert, wenn man etwas implizit lernt? Wie und wo wird es gespeichert? Auf welchen kortikalen Veränderungen beruht das Speichern?

Das Phänomen des Wahrnehmungslernens wurde schon sehr früh entdeckt. Bereits 1953 veröffentlichte Gibson eine Übersicht zu diesem Thema. Man stellte fest, dass sich die Leistung einer Person in einer Wahrnehmungsaufgabe verbessert, wenn sie diese Aufgabe

einige Male wiederholt, also trainiert. Man stellte auch fest, dass das Lernen stimuluspezifisch ist. Die Wahrnehmungsleistung einer Person verbessert sich nur in Bezug auf einen Reiz, mit dem die Person trainiert hat und meist nicht mit ähnlichen Reizen.

1.2 Stimuluspezifität beim Wahrnehmungslernen

Fahle (2004) untersuchte das Wahrnehmungslernen (auch perzeptuelles Lernen genannt) mittels Noniusreizen. Die Versuchspersonen mussten erkennen, in welche Richtung der Versatz eines Nonius wies. Die Leistung einer Person wurde entweder in dem Anteil richtig erkannter Nonien bei einer festen Versatzweite gemessen, oder über die individuelle Wahrnehmungsschwelle, ab der die Person noch einen bestimmten Anteil der Reize richtig erkennen konnte, die mit dem PEST-Verfahren ermittelt wurde. Fahle untersuchte die Stimuluspezifität der Lerneffekte in mehreren Experimenten: In einer ersten Untersuchung trainierten die Versuchspersonen mit Nonien in einer bestimmten Orientierung und es zeigten sich signifikante Verbesserungen der Leistungen in dieser Wahrnehmungsaufgabe. Anschließend wurden die Nonien gedreht und es zeigte sich, dass die Leistungen der Versuchspersonen ab einer Rotation von mehr als 4° wieder auf den Level, der zu Beginn des Experiments gemessen wurde, abfielen. Der gefundene Lerneffekt für die Nonien war also spezifisch für die Orientierung der Nonien.

In einem weiteren Experiment von Fahle (2004) wurden Nonien auf acht verschiedenen Positionen auf einem imaginären Kreis mit 10° Exzentrizität von einem Fixationspunkt präsentiert. Die Versuchspersonen trainierten immer mit Nonien auf einer der acht Positionen und es zeigten sich Verbesserungen der Wahrnehmungsleistung durch das Training. Wurden den Versuchspersonen dann Nonien auf einer anderen als der trainierten Position dargeboten, vielen die Leistungen auf den Ursprungslevel zurück. Der Lerneffekt in dieser Aufgabe war also spezifisch für die Lage des Reizes im visuellen Feld.

In einem dritten Experiment trainierten die Versuchspersonen die Nonien mit nur einem Auge, das andere Auge wurde für das Training abgedeckt. Es zeigten sich, wie in den vorherigen Experimenten, Verbesserungen in der Erkennensleistung. Dann wurden den Versuchspersonen die Nonien auf dem anderen, zuvor abgedeckten Auge dargeboten und die Erkennensleistungen vielen wieder auf den Ursprungslevel zurück. Der Lerneffekt ist also auch spezifisch für das Auge, mit dem trainiert wird.

Es gibt sicher noch weitere Beispiele für die Stimuluspezifität beim Wahrnehmungslernen.

Ein deutlicher Hinweis für die Stimuluspezifität soll hier noch beschrieben werden:

Westheimer (2001) untersuchte das Wahrnehmungslernen mit Landoltringen. Dabei variierte Westheimer die Stimulusgröße um die Schwierigkeit der Aufgabe zu erhöhen und damit Verbesserungen festzustellen. Die Leistung einer Person wurde in der erreichten Schwierigkeitsstufe gemessen. In seiner Studie zeigten sich keine Verbesserungen [nach Chung, Levi und Tjan (2005)]. Chung, Levi und Tjan (2005) untersuchten das Wahrnehmungslernen mit Buchstaben, die die Versuchspersonen erkennen mussten. Die Aufgabenschwierigkeit wurde erhöht, indem der Kontrast zwischen Buchstabe und Hintergrund verringert wurde und die Leistung einer Person wurde in dem Anteil richtig identifizierter Buchstaben gemessen. Die Aufgabe wurde schwieriger, wenn der Buchstabe weniger scharf auf dem Hintergrund zu erkennen war. In der Studie von Chung, Levi und Tjan (2005) zeigten sich nun Verbesserungen der Erkennensleistung durch Training. Die Autoren verwiesen nun darauf, dass bei Westheimer die Stimulusgröße variiert wurde und zogen in Betracht, dass dies der Grund dafür gewesen sein könnte, dass kein Lerneffekt durch Training gefunden wurde. Denn wenn das Wahrnehmungslernen stimuluspezifisch ist, so könnten zwei Reize, die sich nur in ihrer Größe unterscheiden, als verschiedene Reize wahrgenommen werden. Ein Lerneffekt hätte hier also nur gefunden werden können, wenn ausschließlich mit einer Größe trainiert wird.

In der vorliegenden Untersuchung soll das Phänomen des stimuluspezifischen Lernens weiter untersucht werden. Dazu wurden Reize benutzt, die sich in ihrer Lokalisation auf der Netzhaut unterschieden. Das Lernen in der Peripherie des visuellen Feldes möglich ist, konnten schon einige Untersuchungen zeigen:

Chung, Levi und Tjan (2005) präsentierten ihre Reize mit 10° Exzentrizität von einem Fixationspunkt und konnten eine signifikante Verbesserung der Erkennensleistung bei ihren Versuchspersonen feststellen.

Auch Ludwig und Skrandies (2002) untersuchten das Wahrnehmungslernen in der Peripherie des visuellen Feldes. Sie präsentierten ihre Reize mit $7,1^\circ$ Exzentrizität von einem Fixationspunkt entfernt. In der Trainingsphase wurden den Versuchspersonen die Reize in nur einer Hälfte des visuellen Feldes dargeboten und es zeigten sich signifikante Verbesserungen (gemessen in einem Absinken der Schwelle, bei der die Versuchsperson noch einen bestimmten Anteil der Reize richtig erkennen konnte). Bei Reizen, die als Kontrollreize (zur Definition von Trainings- und Kontrollreizen siehe Abschnitt 2.1) in der anderen Hälfte des visuellen Feldes oder in der Fovea dargeboten wurden, zeigten sich keine Veränderungen der Wahrnehmungsschwelle. In der Untersuchung von Ludwig und Skrandies (2002) wurden die Versuchspersonen passiv trainiert. Das heißt, während des Trainings fixierten sie einen

Fixationspunkt und bekamen in der entsprechenden Hälfte des visuellen Feldes Nonien dargeboten die mit einer Frequenz von 2,8 Hz einen Versatz oder keinen Versatz aufwiesen. Die Versuchsperson schaute die Darbietung nur an und löste nicht aktiv eine Aufgabe die mit den Reizen in Zusammenhang stand. Bei Ludwig und Skrandies (2002) zeigten sich die Verbesserungen auch erst bei einer Messung am nächsten Tag. Die Messungen während und direkt nach dem Training ergaben erhöhte Wahrnehmungsschwellen.

1.3 Elektrophysiologie

Shoji und Skrandies (2005) untersuchten in ihrer Studie, auf die die vorliegende Untersuchung aufbaut, auch das Wahrnehmungslernen mittels Noniusreizen und die dabei auftretenden Veränderungen in der elektrischen Hirnaktivität. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, unter acht kreisförmig angeordneten Nonien den Nonius zu erkennen, der einen Versatz aufwies. Auch in dieser Studie gab es einen Trainings- und einen Kontrollreiz. Die Reize unterschieden sich aber nicht wie in der vorliegenden Untersuchung in ihrer Exzentrizität von einem Fixationspunkt, sondern in ihrer Orientierung. Es gab vertikal und horizontal angeordnete Reize. Die Versuchspersonen trainierten mit nur einer Art von Reizen, während mit dem anderen Reiz geprüft wurde, ob sich der Trainingseffekt auf ähnliche Reize überträgt. Es wurden für beide Bedingungen EEG-Messungen vor und nach dem Training durchgeführt.

Shoji und Skrandies (2005) fanden drei deutliche Komponenten in der Global Field Power (GFP). Die GFP wird als eine Art „räumliche Standardabweichung“ berechnet und sie spiegelt die gesamte Hirnaktivität wieder, unabhängig von der genauen Lokalisation der Aktivität. Stellt man die GFP als Kurve im Zeitverlauf der Messung dar, kann man zum Beispiel bei vielen Reizarten Komponenten der so genannten evozierten Potentiale erkennen: Ein solches evoziertes Potential kennzeichnet sich durch eine für diesen Reiz typische Veränderung der Hirnaktivität in einem typischen Zeitfenster. Als Komponente bezeichnet man eine Amplitudenmaximum in der GFP in einem Zeitbereich. Solche Komponenten fanden Shoji und Skrandies in folgenden Zeitbereichen: Komponente 1 zwischen 80 ms und 160 ms, Komponente 2 zwischen 180 ms und 260 ms und Komponente 3 zwischen 280 und 340 ms. Beim Vergleich der GFP innerhalb der Komponentenzeitfenster mittels gepaartem T-Test zeigte sich, dass für den Trainingsreiz die GFP nach dem Training stärker war und für den Kontrollreiz nach dem Training abgenommen hatte.

Weiterhin fanden Shoji und Skrandies Verschiebungen der Schwerpunkte (Centroide): Der

positive und der negative Schwerpunkt lagen sowohl bei dem Trainings- als auch bei dem Kontrollreiz vor dem Training eher mittig, während nach dem Training eine extreme Lateralisierung zu finden war. Im Zeitfenster der dritten Komponente verlagerten sich der positive und der negative Schwerpunkt nur für den Trainingsreiz. Für den Kontrollreiz konnte hier keine Verschiebung festgestellt werden.

Skrandies und Ludwig (2002) untersuchten ebenfalls durch Wahrnehmungslernen hervorgerufene Veränderungen in der Hirnaktivität ihrer Versuchspersonen. Die Messung des EEG erfolgte aber nur für die trainierten Reize. Ein Vergleich der Hirnaktivität zwischen Training- und Kontrollreizen fand hier nicht statt, sondern es wurde nur die elektrische Hirnaktivität vor und nach dem Training für den Trainingsreiz verglichen. Sie fanden auch drei Komponenten in der GFP: Komponente 1 zwischen 56 ms und 104 ms, Komponente 2 zwischen 108 ms und 148 ms und Komponente 3 zwischen 150 ms und 234 ms. Die Latenzen der Komponenten veränderten sich hier durch das Training nicht. Im Bereich der 2. Komponente kam es zu einer Abnahme der GFP nach dem Training, im Bereich der anderen Komponenten kam es zu keinen signifikanten Veränderungen in der Amplitude der GFP.

Topographische Veränderungen sollen hier nicht weiter erörtert werden, da sie in der Studie von Ludwig und Skrandies von der Reizart abhängig waren. Die Versuchspersonen wurden in nur einer Hälfte des Gesichtsfeldes trainiert, was bereits zu einer Lateralisierung der Hirnaktivität führte. Die Ergebnisse in Bezug auf die topographischen Veränderungen können also nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie verglichen werden und werden daher auch nicht weiter betrachtet.

1.4 Hypothesen

In der vorliegenden Untersuchung sollen folgende Fragen untersucht werden:

Wie spezifisch ist das Lernen? Überträgt sich der Lerneffekt, der sich durch Training mit Reizen in einem bestimmten Teil des visuellen Feldes, einstellt, auf Reize, die in einem anderen Teil des visuellen Feldes wahrgenommen werden? Es wird erwartet, dass keine Transfereffekte gefunden werden und sich die Leistungen der Versuchspersonen nur in Bezug auf den Trainingsreiz verbessern, nicht aber in Bezug auf den Kontrollreiz.

Die vorliegende Untersuchung baut auf die Studie von Shoji und Skrandies (2005) auf. Das Vorgehen entspricht dem von Shoji und Skrandies (2005), nur werden in der vorliegenden Untersuchung die Reize nicht in ihrer Orientierung variiert, sondern in ihrer Lokalisation im Gesichtsfeld. Es soll untersucht werden, welche Veränderungen sich in der Hirnaktivität feststellen lassen. Gibt es Veränderungen und sind diese mit den Befunden von Shoji und Skrandies (2005) oder denen von Ludwig und Skrandies (2002) vergleichbar?

2. Methode

2.1 Übersicht über das Experiment

Ziel der Untersuchung war es herauszufinden ob sich die Leistung von Personen in einer Wahrnehmungsaufgabe durch Training verbessert und ob dieser Trainingseffekt spezifisch für einen Stimulus ist. Dazu wurden den Versuchspersonen zwei Arten von Stimuli präsentiert, einen Trainingsreiz und einen Kontrollreiz: Es handelte sich jeweils um acht, kreisförmig um einen Fixationspunkt angeordnete Nonien, die sich zwischen den zwei Bedingungen in ihrer Größe und in der Exzentrizität vom Fixationspunkt (und somit in ihrer Lokalisation auf der Netzhaut beim Betrachten) unterschieden.

Die Nonien bestanden entweder aus großen Balken (7,6 Winkelminuten x 74,7 Winkelminuten) und hatten eine große Exzentrizität (2,3° vom Mittelpunkt des Fixationspunktes entfernt) oder aus kleinen Balken (3,8 Winkelminuten x 36,1 Winkelminuten) mit einer kleinen Exzentrizität (1,16° vom Fixationspunkt entfernt).

Die Versuchsperson wurde mit einem dieser Reize trainiert (Trainingsreiz) und ihre Leistung zu Beginn und zum Schluss des Trainings verglichen. Um festzustellen, ob das Training stimuluspezifisch ist oder ob sich der Trainingseffekt für den trainierten Reiz auf den anderen Reiz überträgt, wurde jeweils vor dem Training und nach dem Training auch die Leistung der Versuchsperson in der anderen Bedingung (Kontrollreiz) gemessen. Etwa die Hälfte der Versuchspersonen trainierten mit den großen Nonien als Trainingsreiz und den kleinen als Kontrollreiz und die anderen Versuchspersonen trainierten mit den kleinen Nonien und bekamen die großen Nonien als Kontrollreiz präsentiert.

Um Veränderungen in der Hirnaktivität durch das Training zu untersuchen, wurde das EEG gemessen und zwar jeweils vor und nach dem Training jeweils für den Trainingsreiz und den Kontrollreiz.

2.2 Versuchspersonen

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um 11 Psychologiestudenten und Psychologiestudentinnen der Justus Liebig Universität Gießen, sowie eine weibliche Versuchsperson ohne akademische Bildung. Insgesamt nahmen sieben Männer und fünf Frauen an dem Experiment teil. Zwei weibliche Versuchspersonen mussten nachträglich wegen nicht verwertbarer Daten, bzw. wegen fehlerhafter Durchführung des Experiments ausgeschlossen werden, so dass die Ergebnisse auf den Daten von zehn Versuchspersonen (sieben männliche und drei weibliche) basieren. Die Teilnehmer waren zwischen 20 und 35 Jahre alt, im Mittel 26 Jahre.

Keiner der Teilnehmer hatte zuvor an einem solchen Experiment teilgenommen. Alle Teilnehmer wurden vor dem Experiment über die Fragestellung der Studie informiert. Die Versuchspersonen nahmen freiwillig an dem Experiment teil und wurden über einen Aushang (siehe Anhang) im Fachbereich Psychologie der Justus Liebig Universität auf das Experiment aufmerksam gemacht oder direkt angesprochen und um die Teilnahme gebeten. Elf der zwölf Versuchspersonen bekamen für die Teilnahme fünf Versuchspersonenstunden gutgeschrieben. Eine Sehschärfe von mindestens 100 % war Voraussetzung um an dem Experiment teilzunehmen. Die Teilnehmer konnten aber gegebenenfalls während des Experiments Sehhilfen tragen. Der Visus der Teilnehmer lag (bei Bedarf durch Sehhilfen korrigiert) zwischen 1,25 und 2,0, im Mittel bei 1,77.

Alle Versuchspersonen waren Rechtshänder. Die erhobene Tiefensehschärfe betrug im Mittel für die Bedingung „uncrossed“ 69,0 Winkelsekunden und für „crossed“ 60,0 Winkelsekunden.

2.3 Reizmaterial

Um eine Verbesserung der Erkennensleistung von Nonien durch Training zu untersuchen, führten die Teilnehmer eine Diskriminationsaufgabe am PC durch. Dargeboten wurden acht, kreisförmig um einen Fixationspunkt angeordnete Nonien, von denen einer einen Versatz aufwies (Abb. 1 und 2). Dieser Nonius mit Versatz war der Zielreiz, den die Versuchsperson

erkennen sollte. Die Position des Zielreizes variierte zufällig, wobei innerhalb eines Durchgangs mit 40 Darbietungen der zu erkennende Nonius auf jeder Position gleich oft erschien.

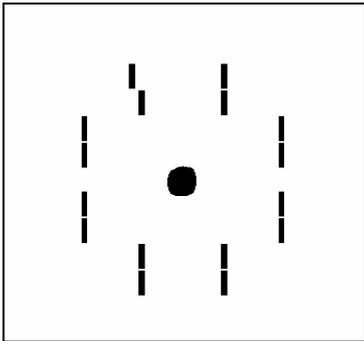


Abbildung 1: Darbietung der kleinen Nonien. Die Versuchsperson hatte die Aufgabe den Nonius mit Versatz (hier oben links) zu erkennen und die entsprechende Taste auf der Tastatur zu drücken.

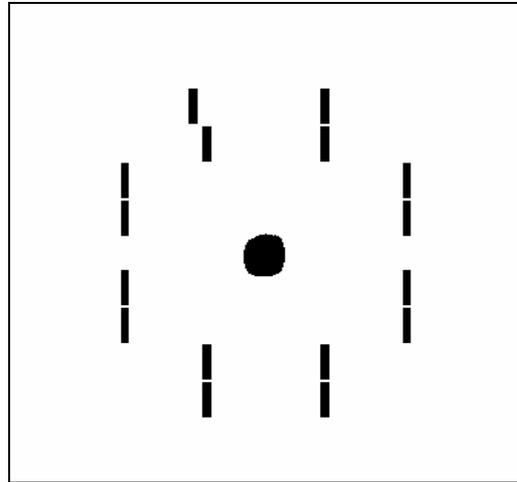


Abbildung 2: Darbietung der großen Nonien. Die Versuchsperson hatte die Aufgabe den Nonius mit Versatz (hier oben links) zu erkennen und die entsprechende Taste auf der Tastatur zu drücken.

Die Darbietung erfolgte auf einem handelsüblichen PC-Monitor (Typ Elsa Ecomo 24H96, 24“, 70 Hz).

Die Versuchsperson saß in einer Entfernung von 110cm zu dem Bildschirm, der Kopf war in einer Kinn-Stirn-Halterung fixiert und die Versuchsperson wurde angehalten, den Fixationspunkt zu fixieren. Damit wurde erreicht, dass die Darbietungen mit kleinen Nonien und kleiner Exzentrizität in den zentralen Bereich der Fovea centralis fielen und die Darbietungen der großen Nonien mit großer Exzentrizität in die Peripherie der Fovea centralis. Der Abstand zwischen den beiden Balken des Nonius betrug 76 Winkelsekunden.

Die mittlere Leuchtdichte der schwarzen Nonien betrug 1,3 cd/m², die des weißen Hintergrundes 90,0 cd/m². Daraus resultierte ein Kontrast von 97%.

Um Augenbewegungen zu vermeiden wurde das Bild immer nur für wenige Millisekunden dargeboten, abhängig von dem zuvor ermittelten individuellen Schwierigkeitsgrad (siehe Abschnitt 2.4) für die Versuchsperson, jedoch maximal 154 ms. Die Versuchsperson sollte erkennen welcher der acht Nonien einen Versatz aufwies und teilte ihre Antwort mit, indem

sie auf einer vor ihr liegenden Tastatur die entsprechende Taste drückte. Die acht Tasten waren genauso kreisförmig angeordnet wie die Nonien in der Darbietung und jede Taste entsprach einer der acht möglichen Positionen der Nonien.

Für die Messung des EEG schauten die Versuchspersonen passiv auf ein ähnliches Bild wie in Abbildung 1. Das dargebotene Bild entsprach dem bereits beschriebenen Bild von acht kreisförmig um einen Fixationspunkt angeordneten Nonien. Der Reiz in der Darbietung bestand hier aber darin, dass alle acht Nonien mit einer Frequenz von 1,23 Hz jeweils einen Versatz (1,9 Winkelminuten bei den Nonien kleiner Exzentrizität und 3,8 Winkelminuten bei den Nonien großer Exzentrizität) oder keinen Versatz aufwiesen. Für die Versuchsperson sah es so aus, als „sprängen“ die oberen Balken der Nonien rhythmisch ein Stück nach links und dann wieder zurück auf die horizontale Position des unteren Balken.

Während einer Messung von 80 s Länge fixierte die Versuchsperson den Fixationspunkt, in dem in unregelmäßigen Abständen einstellige Zahlen für 140 ms erschienen, die die Versuchsperson aufsummieren sollte. Die Summe wurde nach jedem Durchgang abgefragt. Dies diente der Kontrolle und Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit der Versuchsperson. Die Summen waren in der Regel korrekt, vereinzelt aufgetretene Fehler konnten durch Blinzeln erklärt werden.

2.4 Versuchsplan

Zuerst wurden die Variablen Sehschärfe und Tiefensehschärfe erhoben. Anschließend füllten die Teilnehmer einen Fragebogen zu ihrer Person aus, in dem Angaben wie Adresse, Geschlecht und Alter und die Händigkeit (nach dem Oldfield Handedness Inventory ,Oldfield, 1971) erhoben wurden.

Alle weiteren Messungen fanden in einem separaten abgedunkelten Raum statt in dem die Versuchsperson so weit wie möglich von anderen akustischen und visuellen Reizen isoliert war.

Zu Beginn wurde der individuelle Schwierigkeitsgrad für jede Versuchsperson ermittelt. Variiert werden konnte die Weite des Versatzes des Nonius (gemessen in Pixeln) und die Darbietungsdauer des Bildes (gemessen in Frames, wobei ein Frame bei einer Monitorfrequenz von 70 Hz 14 ms entspricht). Durch Ausprobieren wurden Einstellungen gesucht, mit denen die Versuchsperson in beiden Exzentrizitäten zwischen 40% und 60% der Reizdarbietungen richtig bewerten konnten. Die Darbietungszeit wurde in beiden

Bedingungen gleich gewählt, während der Versatz des Nonius geringfügig (maximal um 76 Winkelsekunden) zwischen den Exzentrizitäten variieren konnte.

Den Versuchspersonen wurde zufällig eine Exzentrizität zum Trainieren und die andere Exzentrizität zum Test auf Transfer zugewiesen. Die Zuweisung der zwei verschiedenen Reize als Trainings- und Kontrollreiz erfolgte so, dass gleich viele Personen mit den großen und den kleinen Nonien trainiert wurden. Durch die beschriebenen Ausfälle, gingen letztendlich die Daten von 6 Personen, die die großen Nonien trainierten und von 4 Personen, die die kleinen Nonien trainierten, in die Ergebnisse ein.

Nach der Ermittlung des Schwierigkeitsgrades wurden die EEG-Elektroden angebracht. Es wurden 31 Elektroden in einer Haube über dem okzipitalen Bereich befestigt, wobei die vorderste Reihe von Elektroden auf dem Mittelpunkt zwischen Nasion und Inion platziert wurde und die hinterste Reihe auf dem Inion (siehe Abbildung 3). Die Anordnung der Elektroden entsprach einem Rechteck von 6 x 7 Elektroden, bei dem die „Ecken“ ausgespart wurden, so dass die vorderste und die hinterste Elektrodenreihe aus nur 3 Elektroden und die Reihen am rechten und linken Rand des Rechteckes aus 2 Elektroden bestand.

Die Referenzelektrode befand sich bei P_z (20% hinter C_z). Bei der Auswertung wurden die EEG-Daten gegen die gemittelte Referenz umgerechnet.

Zur Registrierung von Augenbewegungen wurden je eine Elektrode neben den äußeren Augenwinkeln angebracht und zur Registrierung von Blinzeln je eine Elektrode mittig über und unter dem linken Auge.

Das analoge Signal der einzelnen Kanäle wurde mit einem EEG-Verstärker (Braintronics Control 1032) verstärkt. Die Zeitkonstante betrug 0,3 s. Damit ergab sich ein Hochpassfilter von 0,53 Hz. Der Tiefpassfilter wurde auf 70 Hz eingestellt. Die Frequenz des Stromnetzes von 50 Hz wurde mit einem „Notchfilter“ entfernt und die analogen Daten von einer AD-Karte mit einer Rate von 500 Hz im PC digitalisiert und gespeichert.

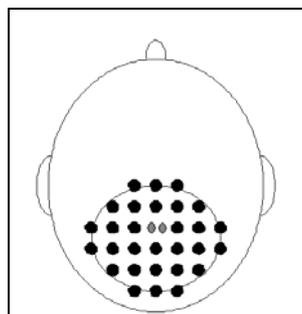


Abbildung 3: Anordnung der Elektroden auf dem Schädel. Die Referenzelektroden sind hier grau eingefärbt.

Um später Versuchspersonen mit neurologischen Auffälligkeiten von der Auswertung auszuschließen, wurde bei allen Versuchspersonen zunächst ein alternierendes Schachbrettmuster dargeboten und das EEG dabei gemessen. Im ersten Durchgang erschien das Muster im linken Gesichtsfeld, in einem zweiten Durchgang im rechten Gesichtsfeld und im letzten Durchgang im linken und im rechten Gesichtsfeld.

Anschließend erfolgte die Messung des EEG während der Darbietung der Noniusreize. Es wurden zuerst 3 Durchgänge von 80 s mit dem Kontrollreiz gemessen und anschließend 3 Durchgänge von 80 s mit dem Trainingsreiz.

Im Anschluss an diese erste elektrophysiologische Messung erfolgte das Lernexperiment. Dazu wurden noch einmal kurz die Einstellungen für Darbietungsdauer und Versatzweite der Reize überprüft und gegebenenfalls angepasst, da sich bei manchen Versuchspersonen schon durch das passive Betrachten der Noniusreize eine Veränderung der Erkennensleistung feststellen ließ. Zuerst erfolgte dann ein Durchgang mit 40 Darbietungen des Kontrollreizes. Die Versuchsperson sollte die Nonien mit Versatz erkennen und deren Position über die Tastatur mitteilen. Es handelte sich hier um eine Wahlreaktionsaufgabe, eine weitere Reizdarbietung erfolgte immer erst, wenn die Versuchsperson eine Taste gedrückt hatte. Das heißt, auch wenn die Versuchsperson nichts erkennen konnte, musste sie irgendeine Taste drücken um fortfahren zu können. Anschließend erfolgten 10 Durchgänge mit 40 Darbietungen des Trainingsreizes. Die Versuchspersonen konnten zu jedem beliebigen Zeitpunkt eine Pause machen, indem sie einfach nach einer Darbietung die gewünschte Taste erst drückten, wenn sie mit dem Experiment fortfahren wollten. Mindestens eine größere Pause wurde immer nach 5 Durchgängen gemacht, weitere Pausen wurden vom Versuchsleiter angeregt, wenn der Verdacht auf Ermüdung der Versuchsperson bestand.

Nach dem Lernexperiment wurde noch einmal das EEG gemessen. Zuerst in 3 Durchgängen von 80 s mit den untrainierten Reizen und dann in 3 Durchgängen von 80 s mit den trainierten Reizen.

Insgesamt dauerte das Experiment ca. drei Stunden.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse Psychophysik

Die Erkennensleistung einer Versuchsperson wurde definiert als Bruchteil der richtig erkannten Nonien pro Durchgang.

Abbildung 4 zeigt die mittlere Erkennensleistung aller Versuchspersonen im Verlauf der 10 Trainingsdurchgänge.

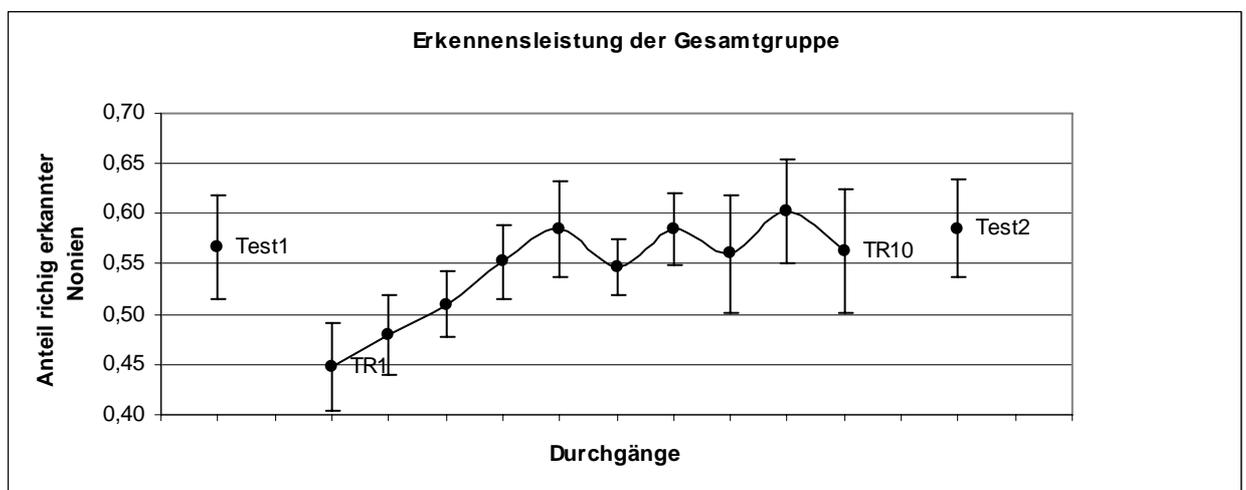


Abbildung 4: Lernkurve der Gesamtgruppe. Die Datenpunkte Test1 und Test2 geben die Erkennensleistung der Versuchspersonen in den Kontrolldurchgängen mit den untrainierten Reizen an. Die Kurve, die mit dem Datenpunkt TR1 beginnt und mit TR10 endet, gibt die Erkennensleistung in den einzelnen Trainingsdurchgängen an. TR1 ist der erste Durchgang des Trainings und TR10 der letzte Durchgang des Trainings. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung des Mittels an.

Um die Verbesserung der Erkennensleistung durch Training auf Signifikanz zu untersuchen, wurden die Leistungen der Teilnehmer im ersten und im letzten Durchgang des Trainings mit einem T-Test für abhängige Stichproben verglichen. Die Leistungen der Teilnehmer im letzten Durchgang (TR10) waren signifikant besser als im ersten Durchgang (TR1); $M_{TR1} = 0,4475$ und $M_{TR10} = 0,5625$; $t(9) = -3,363$, $p = ,008$.

Ebenso wurde mit der Erkennensleistung der Teilnehmer für die untrainierte Exzentrizität verfahren: Die Leistungen des Durchgangs vor dem Training (Test1) und die Leistungen des Durchgangs nach dem Training (Test2) wurden mit einem T-Test für abhängige Stichproben auf Signifikanz überprüft. Es ergab sich kein signifikanter Lernerfolg; $M_{Test1} = 0,5675$ und $M_{Test2} = 0,585$; $t(9) = -0,349$, $p = ,735$.

3.2 Ergebnisse Elektrophysiologie

Abbildung 5, 6, 7 und 8 zeigen so genannte Potentialkarten. Auf diesen Karten ist die neuronale Aktivität (gemittelt über alle Versuchspersonen) zu verschiedenen Messzeitpunkten graphisch dargestellt. Blaue Bereiche kennzeichnen negative Aktivität, rote Bereiche kennzeichnen positive Aktivität. Je weiter das Potential in Richtung Null geht, desto blasser wird der jeweilige Farbton. Die schwarzen Linien sind Äquipotentiallinien. Es ist zu beachten, dass die Aktivität über den gesamten Schädel dargestellt ist. Gemessen wurde aber nur in dem Bereich, in dem die Elektroden in den Karten auch dargestellt sind (kleine, schwarze Kreise) und zur Interpretation der Karten sind auch nur die Potentiale in diesem Bereichen zu betrachten. Bei den Werten außerhalb dieses Bereiches handelt es sich um extrapolierte Daten.

Abbildung 5 und 6 zeigen die topographische Verteilung der neuronalen Aktivität für die trainierten Reize gemittelt über alle Versuchspersonen vor und nach dem Training.

Das gleiche zeigen die Abbildungen 7 und 8 für die untrainierten Reize.

Untersucht wurde, ob und wie sich die Potentiale in ihrer Amplitude, ihrem zeitlichen Verlauf und ihrer Lokalisation durch das Training veränderten.

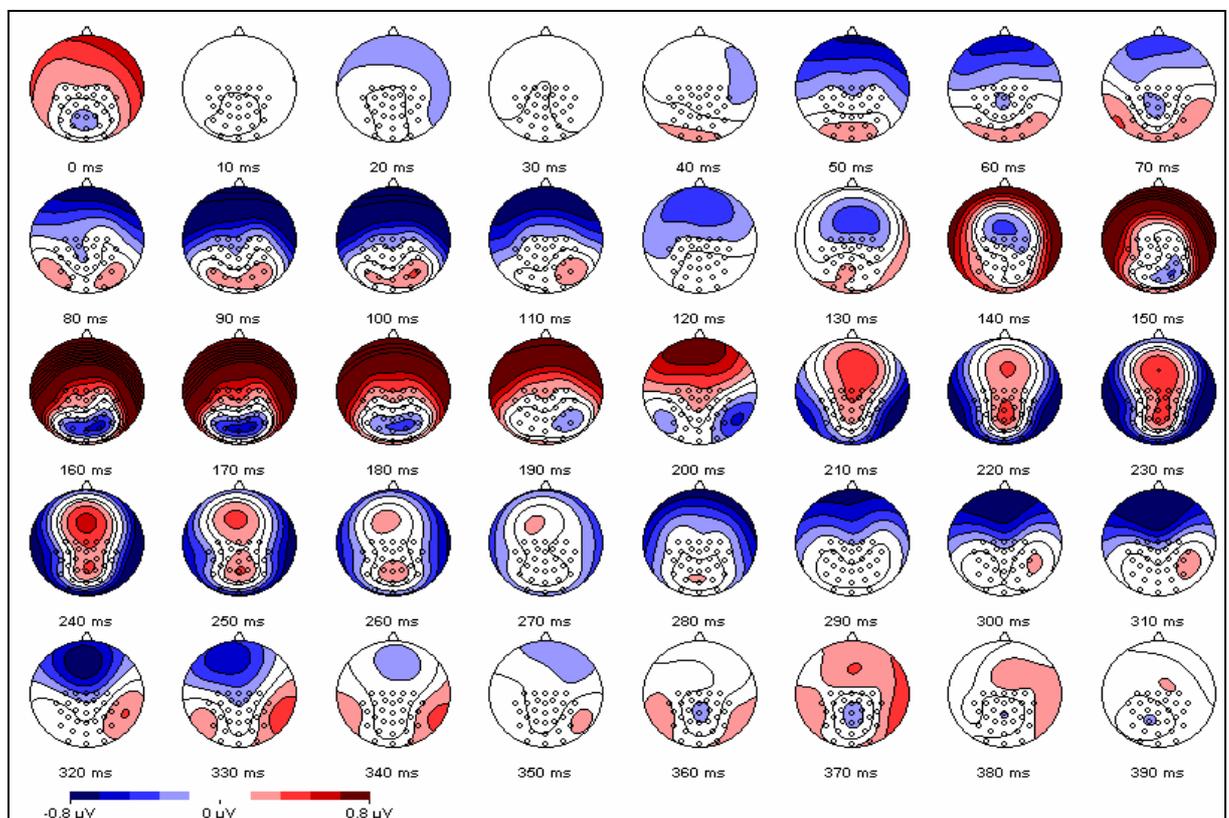


Abbildung 5: Potentialkarten gemittelt über alle Versuchspersonen und registriert während der Darbietung des Trainingsreizes vor dem Training. Die Verteilung der Elektroden ist durch kleine schwarze Kreise dargestellt.

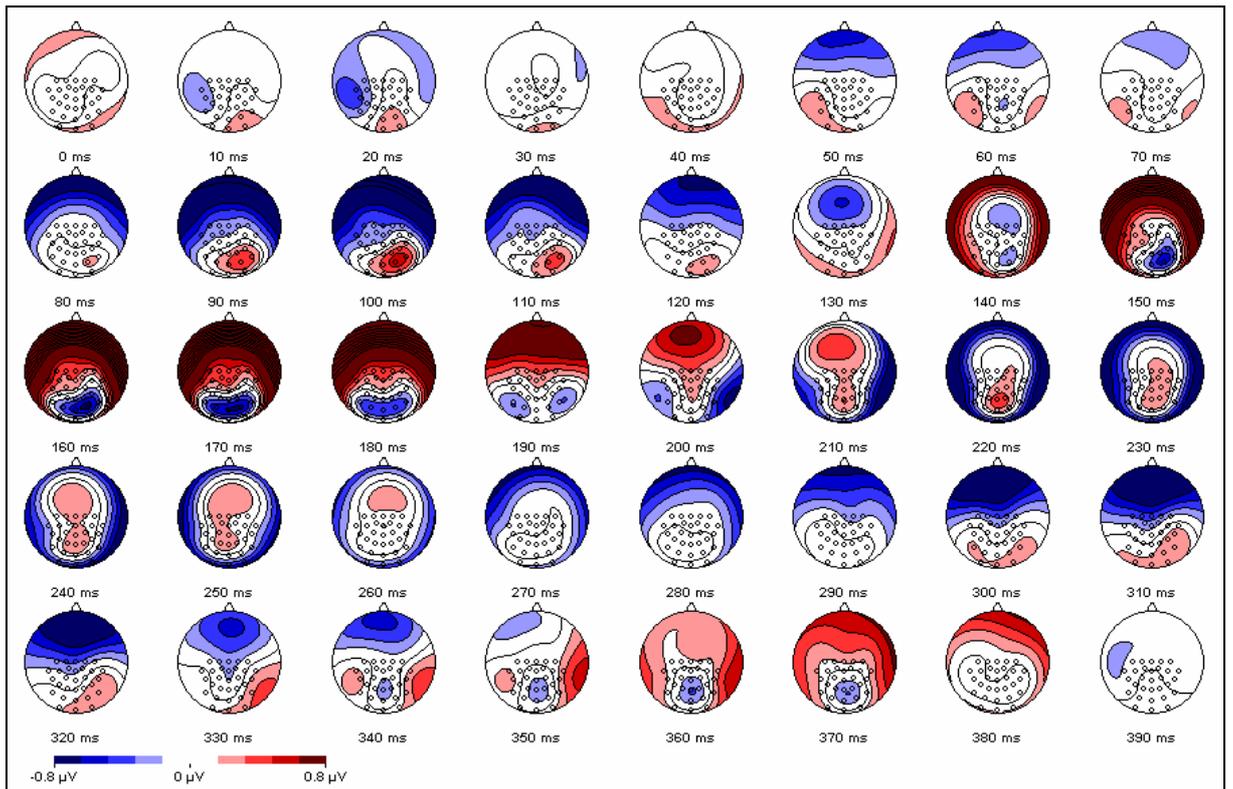


Abbildung 6: Potentialkarten gemittelt über alle Versuchspersonen und registriert während der Darbietung des Trainingsreizes nach dem Training. Die Verteilung der Elektroden ist durch kleine schwarze Kreise dargestellt.

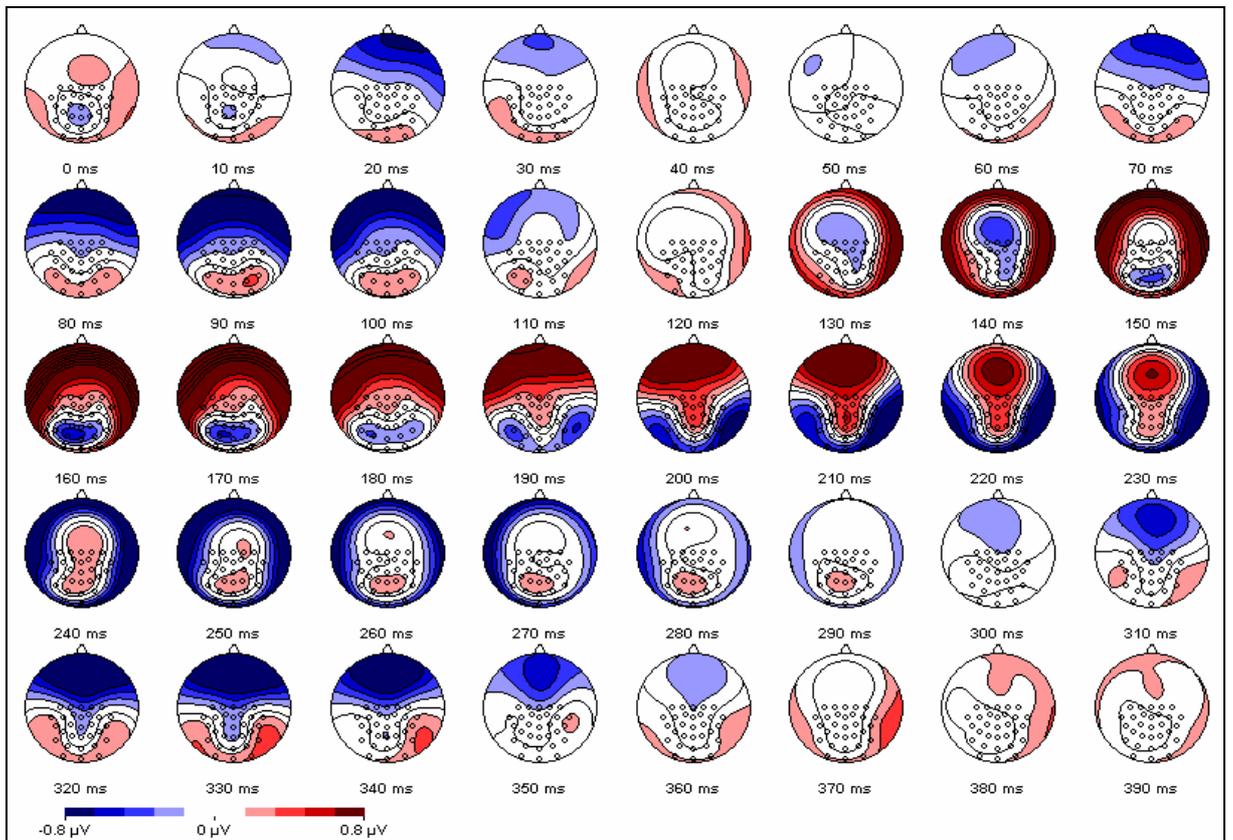


Abbildung 7: Potentialkarten gemittelt über alle Versuchspersonen und registriert während der Darbietung des Kontrollreizes vor dem Training. Die Verteilung der Elektroden ist durch kleine schwarze Kreise dargestellt.

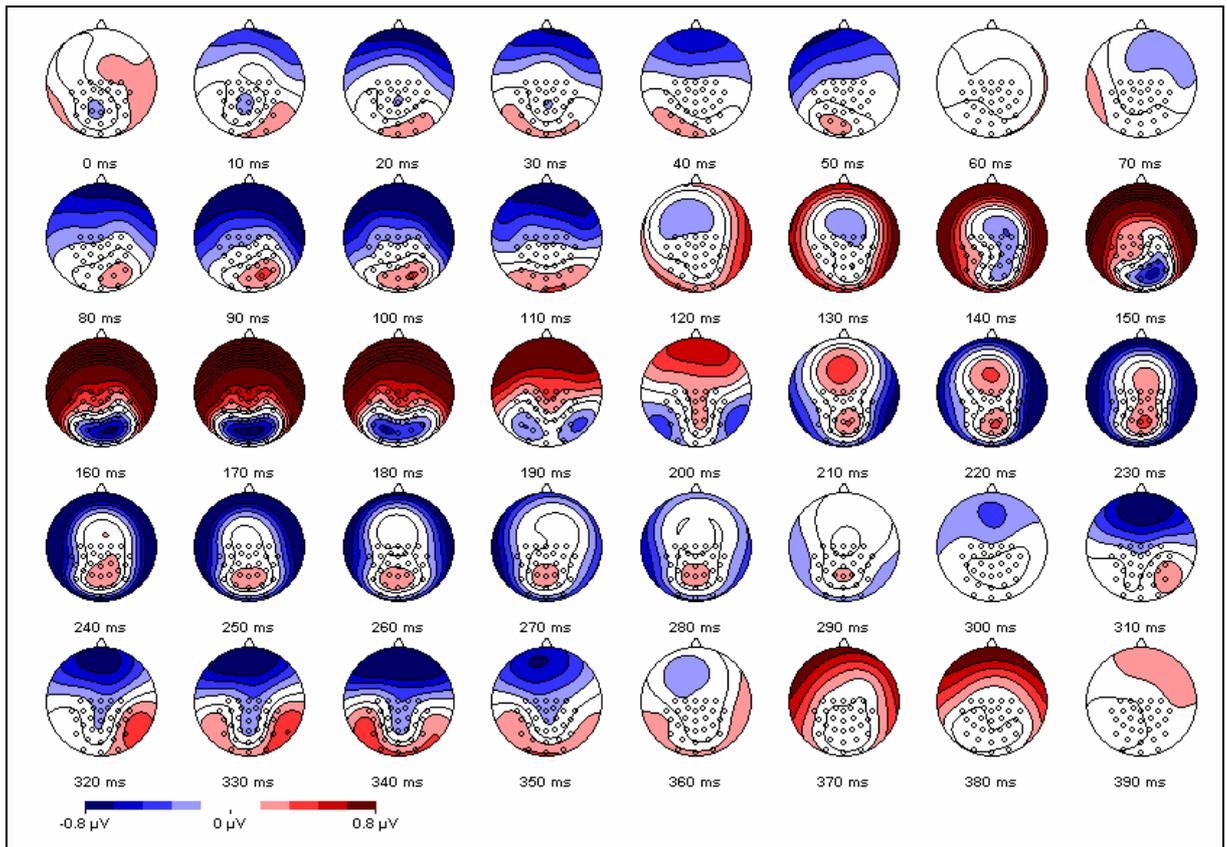


Abbildung 8: Potentialkarten gemittelt über alle Versuchspersonen und registriert während der Darbietung des Kontrollreizes nach dem Training. Die Verteilung der Elektroden ist durch kleine schwarze Kreise dargestellt.

3.2.1 Globale Vergleiche

3.2.1.1 Veränderungen der Amplitude der GFP

Abbildung 9 zeigt die mittlere Global Field Power (GFP) aller Versuchspersonen, die für den trainierten Reiz vor und nach dem Training gemessen wurde. Um die Unterschiede in der Amplitude für die einzelnen Zeitpunkte auf Signifikanz zu überprüfen, wurde ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Die P-Werte der Signifikanzprüfung begrenzen die grauen Flächen im unteren Teil des Diagramms. Die Werte können auf der Y-Achse abgelesen werden, sind aber dimensionslos. Ein P-Wert zwischen 0 und 0,05 markiert einen Messzeitpunkt, an dem sich die GFP vor dem Training signifikant von der GFP nach dem Training unterscheidet. Ein signifikanter Unterschied an nur einem Zeitpunkt wurde als zufällig betrachtet, erst Blöcke von drei oder mehr nebeneinander liegenden Zeitpunkten, an denen sich die GFP vor und nach dem Training signifikant unterscheidet, wurden als signifikante Veränderung in der GFP durch das Training angesehen. Solche Blöcke finden

sich in den Bereichen zwischen 14 ms und 18 ms, zwischen 154 ms und 178 ms, zwischen 224 ms und 230 ms und zwischen 362 ms und 366 ms.

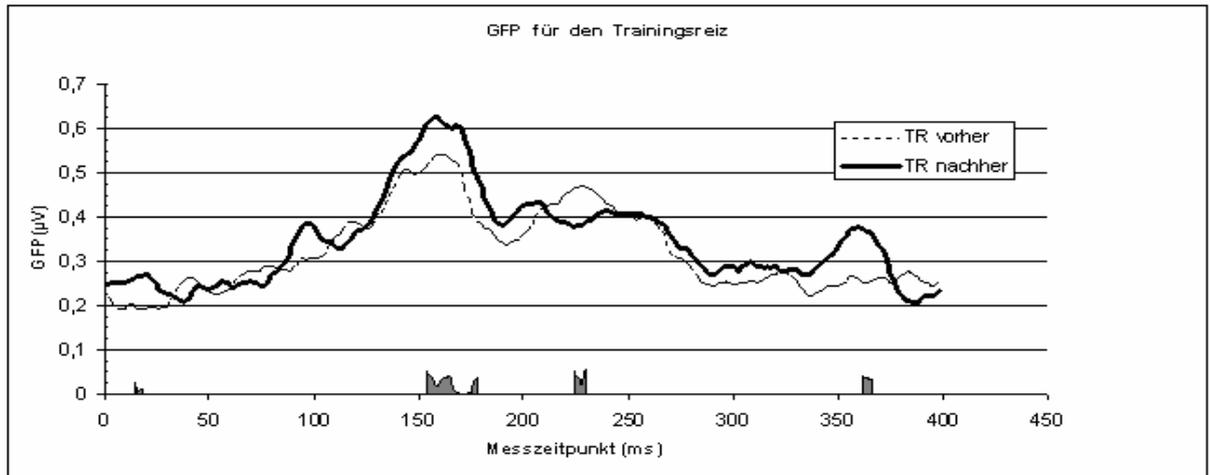


Abbildung 9: Die GFP gemittelt über alle Versuchspersonen für den trainierten Reiz vor und nach dem Training. Die Bedeutung der grauen Flächen im unteren Teil der Abbildung ist im Text oben näher erklärt.

Betrachtet man diese Zeitbereiche in den Potentialkarten (Abbildung 5 und 6), so findet man beim Vergleich der Karten bei 10 ms und 20 ms nach dem Training Aktivität, die vor dem Training noch nicht zu finden war. Im linken, frontalen Bereich finden sich nach dem Training negative Potentiale und im okzipitalen Bereich positive Potentiale. Im Bereich zwischen 150 ms und 180 ms sieht man solche großen Veränderungen nicht. Hier hat sich also nur die Amplitude der GFP geändert und es kam zu keinen topographischen Veränderungen. Im Bereich zwischen 224 ms und 230 ms ändert sich die Verteilung der negativen Potentiale nicht, die positive Aktivität im mittleren Bereich des Schädels ist aber nach dem Training geringer als vor dem Training.

Auch die von den untrainierten Reizen hervorgerufene GFP wies nach dem Training signifikante Unterschiede zu der GFP vor dem Training auf (siehe Abbildung 10).

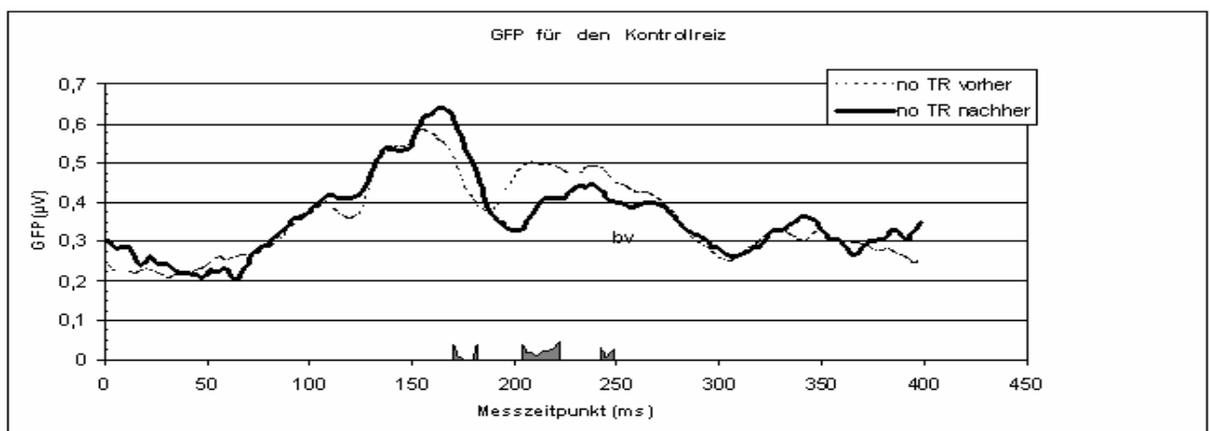


Abbildung 10: Die GFP gemittelt über alle Versuchspersonen für den untrainierten Reiz vor und nach dem Training. Die Bedeutung der grauen Flächen im unteren Teil der Abbildung ist im folgenden Text näher erklärt.

Blöcke signifikanter Unterschiede in der Amplitude der GFP vor und nach dem Training finden sich hier zwischen 170 ms und 182 ms, 204 ms und 222 ms und zwischen 242 ms und 248 ms.

Beim Vergleich der Potentialkarten für den Kontrollreiz (Abbildungen 7 und 8) sieht man, dass bei 180 ms die Aktivität im mittleren okzipitalen Bereich nach dem Training um ca. 0,2 μV negativer ist als vor dem Training. Bei 200 ms ist die positive Aktivität im mittleren Schädelbereich vor dem Training deutlich stärker als nach dem Training und die negative Aktivität im mittleren okzipitalen Bereich vor dem Training ist nach dem Training nicht mehr zu finden. Auch im Bereich bei 240 ms und 250 ms findet sich eine Abnahme der positiven Aktivität im mittleren Schädelbereich nach dem Training im Vergleich zu vor dem Training.

3.2.1.2 Beurteilung der Veränderungen der neuronalen Aktivität anhand von T-Werten

Bisher wurden die signifikanten Änderungen in der Amplitude der GFP, also der Aktivität gemittelt über alle Kanäle und alle Versuchspersonen, betrachtet. Um die topographischen Veränderungen auf neuronaler Ebene durch Training besser beschreiben zu können, wurden so genannte T-Wert-Karten erstellt. Abbildung 11 zeigt diese Karten für die durch die trainierten Reize hervorgerufene Aktivität und Abbildung 12 zeigt diese Karten für die durch die untrainierten Reize hervorgerufene Aktivität. Dazu wurde die neuronale Aktivität aus jedem Kanal zu jedem Zeitpunkt über alle Versuchspersonen gemittelt und mit diesen Mittelwerten ein T-Wert berechnet, wobei jeweils die Mittelwerte der trainierten Reize vor dem Training mit denen der trainierten Reize nach dem Training verglichen wurden. Die Mittelwerte der untrainierten Reize wurden auf die gleiche Weise verglichen. Diese T-Werte wurden in das Programm zur Auswertung von EEG-Daten importiert und so konnte die räumliche Verteilung der T-Werte über die Zeit in Form von Karten graphisch dargestellt werden. Da alle T-Tests natürlich zweiseitig auf Signifikanz geprüft wurden, spiegelt auch in diesen Karten ein hoher Betrag des T-Wertes eine hohe Signifikanz, also eine deutliche Veränderung der neuronalen Aktivität zwischen den beiden Messzeitpunkten „vor dem Training“ und „nach dem Training“ wieder. Der kritische T-Wert lag bei $|2,3|$ ($FG = 9; \alpha = 0,05$). Die Farbgebung der Karten wurde so gewählt, dass Werte ab $-2,3$ und kleiner blau dargestellt sind und Werte ab $2,3$ und größer rot. Jede farbige Fläche kennzeichnet also einen Bereich, in dem es zu signifikanten Veränderungen kam.

In Abbildung 11 erkennt man, dass sich die neuronale Aktivität vor dem Training von der nach dem Training im Bereich zwischen 10 ms und 20 ms unterscheidet. Im linken vorderen Bereich finden sich hohe positive T-Werte und im mittigen hinteren Bereich finden sich bei 20 ms hohe negative T-Werte. Im Bereich zwischen 60 ms und 70 ms finden sich auch deutliche Unterschiede in der neuronalen Aktivität, allerdings sind hier die T-Werte im vorderen linken Bereich negativ und im hinteren rechten Bereich positiv. Die Negativität im vorderen linken Bereich ist noch länger, bis 90 ms erkennbar. Leichte Veränderungen finden sich dann noch einmal im Bereich zwischen 170 ms und 190 ms, wo sich ein Bereich positiver T-Werte links hinten herausbildet. Bei 300 ms findet man dort dann wieder negative T-Werte.

Anhand dieser T-Werte, lassen sich einige gefundene Effekte besser beurteilen: So fand sich zum Beispiel ein signifikanter Unterschied in der GFP der trainierten Reize zwischen 14 ms und 18 ms. Dieser Effekt lässt sich mit Hilfe der T-Wert-Karte lokalisieren. Das gleiche gilt für den gefundenen Unterschied bei 178 ms. Bei allen anderen signifikanten Unterschieden in der GFP der trainierten Reize, handelt es sich eher um globale Effekte, die zwar vorhanden, aber keinem Hirnareal zuzuordnen sind.

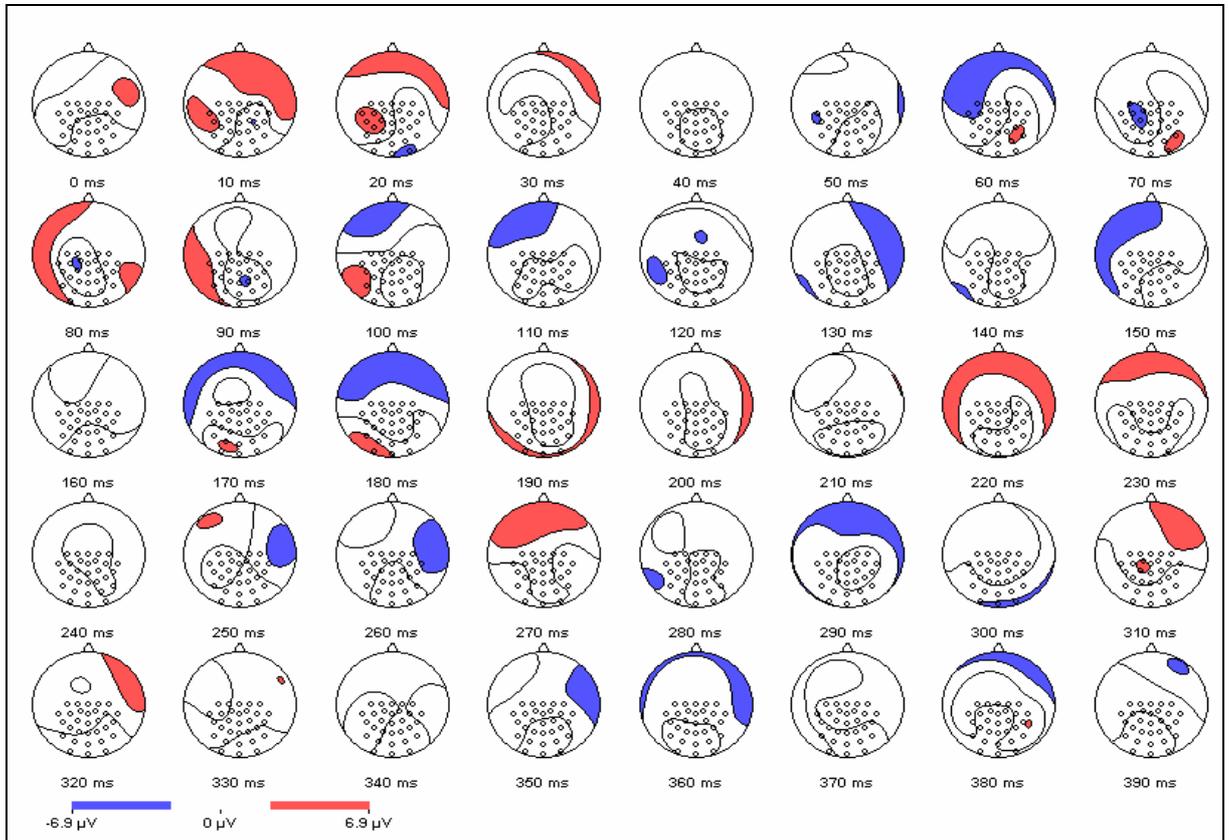


Abbildung 11: räumliche Verteilung der T-Werte auf der Schädel für die über alle Versuchspersonen gemittelte Aktivität vor und nach dem Training für die trainierten Reize.

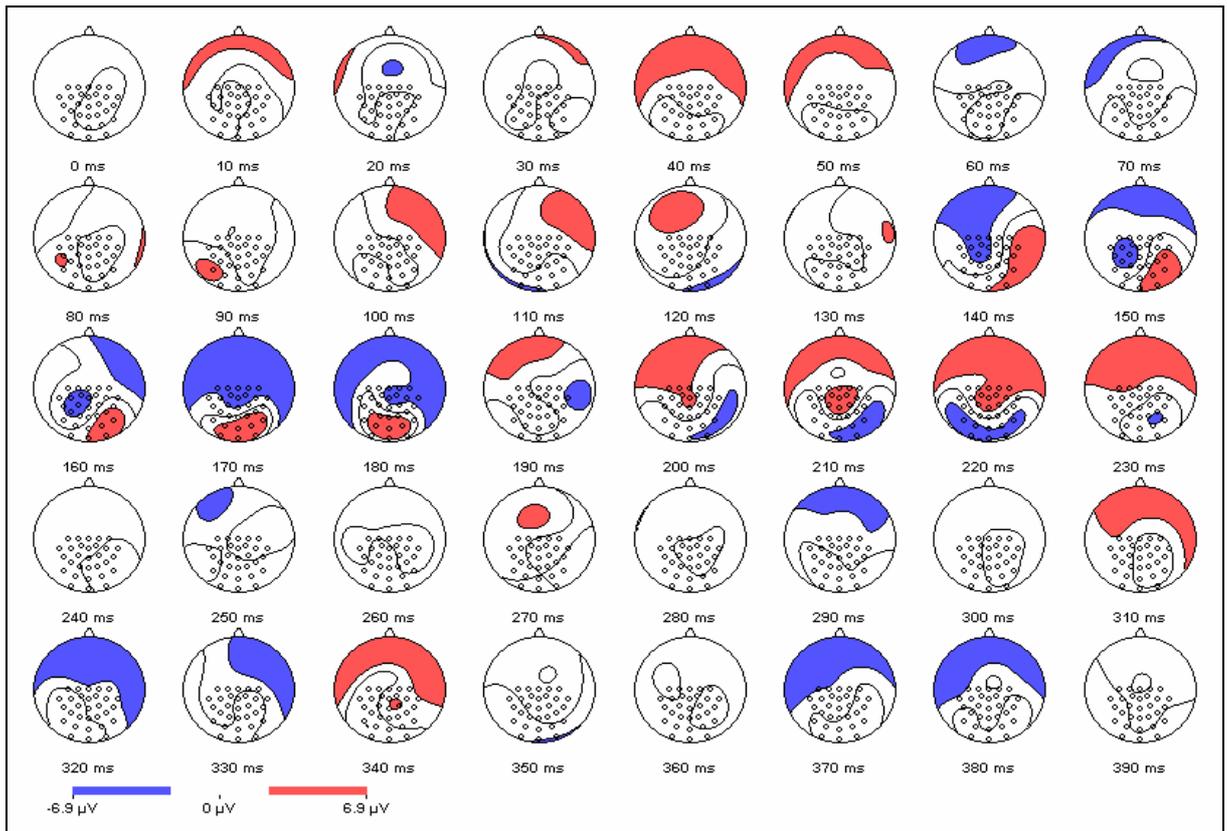


Abbildung 12: räumliche Verteilung der T-Werte auf der Schädel für die über alle Versuchspersonen gemittelte Aktivität vor und nach dem Training für die untrainierten Reize.

Für die untrainierten Reize (Abbildung 12) finden sich auch Unterschiede: Im Bereich zwischen 80 ms und 90 ms finden sich hohe positive T-Werte im linken Bereich. Zwischen 110 ms und 120 ms findet man negative T-Werte im hinteren Bereich des Schädels. Bei 140 ms bis 180 ms finden sich deutliche Veränderungen der Hirnaktivität nach dem Training: Im rechten Schädelbereich finden sich hohe positive T-Werte, die sich am Ende dieses Zeitfensters mittig nach hinten verlagern. Zwischen 140 ms und 160 ms finden sich hohe negative T-Werte vorne links, ab 170 ms bis 180 ms verlagern diese sich nach rechts. Zwischen 200 ms und 220 ms findet man rechts hohe T-Werte die sich in die hintere Mitte verlagern und positive T-Werte vorne.

In den Zeitfenstern zwischen 170 ms und 180 ms sowie zwischen 200 ms und 220 ms finden sich auch hier signifikante Veränderungen in der Amplitude der GFP für die untrainierten Reize. Hier lässt sich eine solche Veränderung also auch lokalisieren, wogegen die signifikante Veränderung der GFP für die untrainierten Reize zwischen 242 ms und 248 ms in der T-Wert-Karte nicht lokalisierbar ist.

Insgesamt kam es also sowohl bei der durch die trainierten als auch die untrainierten Reize hervorgerufen Aktivität zu Veränderungen nach dem Training.

3.2.1.3 Centroide

Weiterhin wurden die erhobenen Daten auf ihre positiven und negativen Schwerpunkte und insbesondere auf die Verschiebung dieser Schwerpunkte untersucht.

Teilt man die Schädeloberfläche gedanklich durch 2 Achsen in vier Quadranten ein, so lässt sich anhand von Verschiebungen entlang dieser Achsen die Verschiebung des Schwerpunktes beschreiben. Die X-Achse teilt den Schädel in den vorderen und den hinteren Teil, die Y-Achse in rechte und linke Seite ein. Eine negative Verschiebung eines Punktes entlang der X-Achse bedeutet also eine Verschiebung nach links und eine positive Verschiebung entlang der Y-Achse bedeutet eine Verschiebung nach vorne.

Es wurde ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt um die Lage des positiven und negativen Schwerpunktes zu jedem Zeitpunkt vor und nach dem Training zu vergleichen. Dabei wurden die Verschiebungen auf den beiden Achsen getrennt betrachtet. In Tabelle 1 sind die Zeitbereiche wiedergegeben, in denen es zu signifikanten Verschiebungen vor und nach dem Training kam, wobei auch hier erst Blöcke von drei oder mehr nebeneinander liegenden und sich signifikant unterscheidenden Zeitpunkten als signifikante Verschiebung behandelt wurden. Einzelne Unterschiede im Verlauf der Schwerpunkte wurden als zufällig betrachtet.

Tabelle 1: signifikante Verschiebungen des positiven und negativen Schwerpunktes entlang der X- oder der Y-Achse für die trainierten und die untrainierten Reize

	Für den trainierten Reiz	Für den untrainierten Reiz
Verschiebung des positiven Schwerpunktes entlang der Y-Achse	206 ms – 212 ms	106 ms – 118 ms
	298 ms – 302 ms	162 ms – 186 ms
		202 ms – 222 ms
Verschiebung des negativen Schwerpunktes entlang der Y-Achse	302 ms -308 ms	214 ms – 220 ms
Verschiebung des positiven Schwerpunktes entlang der X-Achse	18 ms – 22 ms	80 ms – 86 ms
	54 ms – 64 ms	138 ms – 158 ms
	144 ms – 150 ms	182 ms – 188 ms
		338 ms – 342 ms
Verschiebung des negativen Schwerpunktes entlang der X-Achse	18 ms – 22 ms	136 ms – 142 ms
	50 ms – 68 ms	

Auch wenn es bei den trainierten und den untrainierten Reizen zu ähnlich vielen signifikanten Verschiebungen kam, so finden sich doch keine Verschiebungen zu gleichen Zeitpunkten in beiden Bedingungen.

Betrachtet man diese Zeitbereiche auf den Potentialkarten für die untrainierten Reize (Abbildung 7 und 8), so sind einige Verschiebungen hier schon erkennbar. Im Folgenden sind einige exemplarisch aufgeführt: Die Verschiebung des positiven Schwerpunktes entlang der Y-Achse spiegeln sich auf den Potentialkarten bei 200 ms, 210 ms und 220 ms deutlich wieder: Zuerst verlagert sich die positive Aktivität nach vorne und nimmt dann insgesamt ab. Ähnliches ist für den negativen Schwerpunkt (wenn auch weniger deutlich) auf den Karten bei 210 ms und 220 ms erkennbar: Die negative Aktivität verlagert sich nach hinten und nimmt insgesamt ab.

Auch in den Potentialkarten für den trainierten Reiz (Abbildung 5 und 6) sind einige Verschiebungen deutlich erkennbar. In den Karten bei 50 ms und 60 ms verteilt sich die positive Aktivität vor dem Training mittig hinten, nach dem Training dagegen eher auf der linken Seite des Schädels.

Abbildung 13 und 14 zeigen exemplarisch den Verlauf des positiven Schwerpunktes für die neuronale Aktivität des trainierten und des untrainierten Reizes jeweils vor und nach dem Training. Die P-Werte der Signifikanzprüfung begrenzen die grauen Flächen im Diagramm und können auf der rechten Y-Achse abgelesen werden. Die Werte auf der linken Y-Achse geben die Verschiebung des Schwerpunktes nach rechts (positive Werte) und links (negative Werte) wieder, gemessen in Elektrodenabständen.

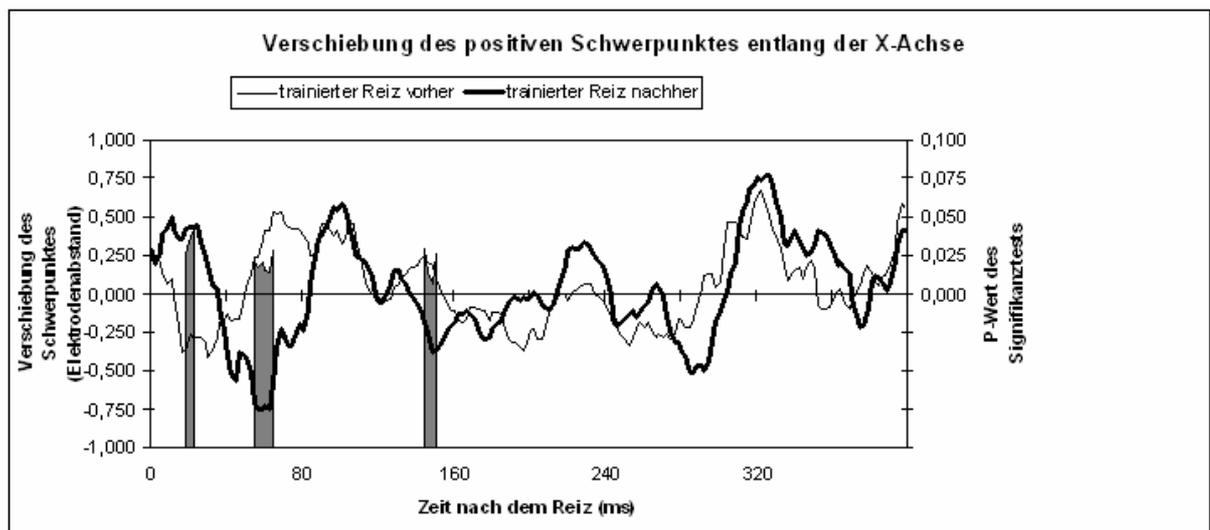


Abbildung 13: Räumliche Lage des positiven Schwerpunktes auf der X-Achse der bei Darbietung der trainierten Reize gemessenen neuronalen Aktivität vor und nach dem Training. Die Bedeutung der grauen Flächen im unteren Teil der Abbildung ist im folgenden Text näher erklärt.

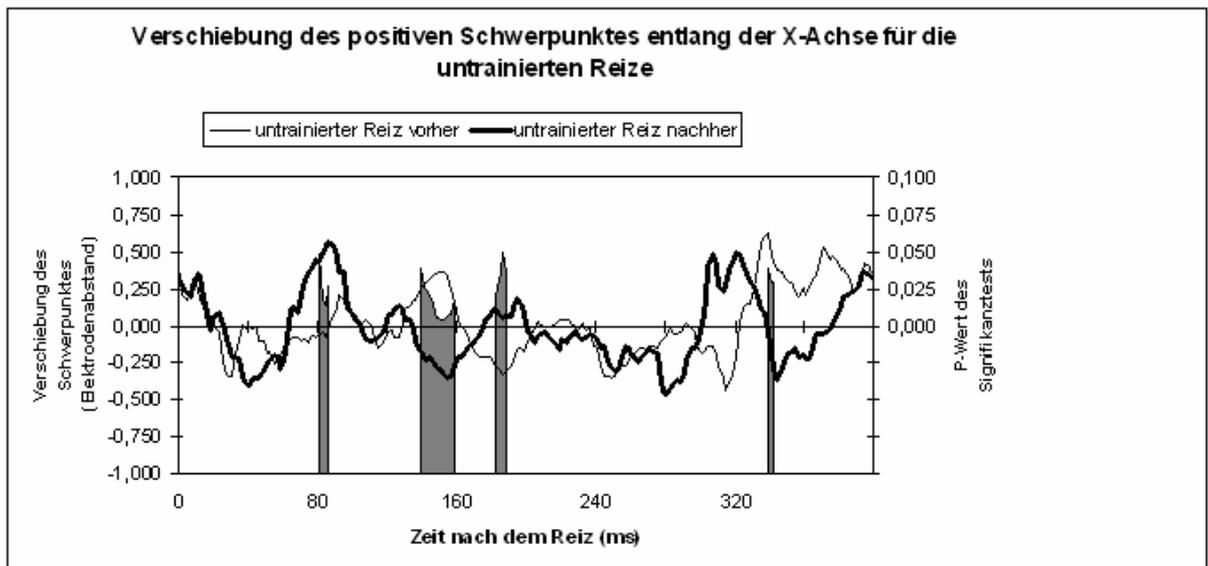


Abbildung 14: Räumliche Lage des positiven Schwerpunktes auf der X-Achse der bei Darbietung der untrainierten Reize gemessenen neuronalen Aktivität vor und nach dem Training. Die Bedeutung der grauen Flächen im unteren Teil der Abbildung ist im folgenden Text näher erklärt.

3.2.2. Bestimmung und Analyse einzelner Komponenten

Weiterhin wurden die GFP-Verläufe der Teilnehmer auf bestimmte Komponenten untersucht. Dazu wurden in allen 4 GFP-Verläufen der Gesamtgruppe (GFP des trainierten Reizes vor und nach dem Training, GFP des untrainierten Reizes vor und nach dem Training) 4 Komponenten (K1 – K4) des VEP mit deutlichen Amplitudenmaxima identifiziert: K1 zwischen 58 ms und 106 ms, K2 zwischen 124 ms und 178 ms, K3 zwischen 196 ms und 264 ms und K4 zwischen 292 ms und 390 ms. Es wurden nun bei allen Versuchspersonen getrennt für die trainierten und die untrainierten Reize die genauen Zeitpunkte, bei denen die Amplitudenmaxima der vier Komponenten lagen, ermittelt. Ziel war es, mögliche zeitliche Verschiebungen, Änderungen in der Amplitude der GFP und Verschiebungen der Centroide durch das Training zu identifizieren, wobei die oben genannten Zeitfenster nur als Richtlinie dienten.

3.2.2.1. Veränderungen im zeitlichen Verlauf der GFP

Zur Analyse möglicher zeitlicher Verschiebungen in der GFP wurde jeweils für die trainierten und die untrainierten Reize ein T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Dabei wurde für jede Versuchsperson der genaue Messzeitpunkt, bei dem das Amplitudenmaximum der jeweiligen Komponente lag, bestimmt und der Mittelwert über alle Versuchspersonen

gebildet. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der Latenzen ($\alpha = 0,05$). Die Mittelwerte, T-Werte und Signifikanzen sind in den Tabelle 2 und 3 aufgeführt.

Tabelle 2: Mittelwerte, T- und P-Werte für die Signifikanzprüfung der Latenzen in der GFP für den Trainingsreiz.

	Mittel vor dem Training (ms)	Mittel nach dem Training (ms)	T-Wert	P-Wert
K1	93,6	98,0	- 0,77	0,4637
K2	157,4	159,2	- 0,338	0,744
K3	227,8	228	- 0,049	0,962
K4	323,6	328	- 0,879	0,405

Tabelle 3: Mittelwerte, T- und P-Werte für die Signifikanzprüfung der Latenzen in der GFP für den Kontrollreiz.

	Mittel vor dem Training (ms)	Mittel nach dem Training (ms)	T-Wert	P-Wert
K1	110,2	104,8	0,992	0,35
K2	162,4	164,6	- 0,855	0,417
K3	239	245,2	- 1,23	0,253
K4	337,2	346	- 1,47	0,18

3.2.2.2 Vergleich der GFP-Amplituden in den gefundenen Komponenten

Für jede Versuchsperson wurde die GFP-Amplitude zu dem Messzeitpunkt, an dem das Amplitudenmaximum der jeweiligen Komponente bei dieser Versuchsperson lag, ermittelt. Mit einem T-Test für abhängige Stichproben ($FG = 9$; $\alpha = 0,05$) wurden dann diese Amplitudenwerte aus der Messung vor dem Training mit den Werten nach dem Training verglichen. Dies wurde für den Trainingsreiz und den Kontrollreiz getrennt durchgeführt. Es ergaben sich keine Signifikanzen, außer bei K3 für den Kontrollreiz ($t = 3,12$; $p = 0,014$). Da die signifikanten Unterschiede in der GFP bereits in Abschnitt 3.2.1.1 ausführlich beschrieben wurden, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

3.2.2.3 Vergleich der Schwerpunktverschiebungen innerhalb der gefundenen Komponenten

Auch die Schwerpunktverläufe wurden so, wie es für die GFP-Verläufe in Abschnitt 3.2.2.3 beschrieben wurde, auf signifikante Unterschiede vor und nach dem Training innerhalb der gefundenen Komponenten untersucht. Hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede

4. Diskussion

4.1 Psychophysik

Wie erwartet wurde kein Transfereffekt in dem durchgeführten Lernexperiment gefunden. Die Personen verbesserten ihre Leistungen in Bezug auf den trainierten Reiz, während es bei den Kontrollreizen zu keiner signifikanten Verbesserung nach dem Training kam. Dies entspricht den Befunden von Fahle (2004) und von Ludwig und Skrandies (2002) wie sie in Abschnitt 1.2 beschrieben wurden. Auch in diesen Untersuchungen verbesserten sich die Leistungen der Versuchspersonen signifikant in den Aufgaben, die die Personen trainiert hatten. In Bezug auf die Kontrollreize verbesserten sich die Teilnehmer nicht. Die vorliegenden Befunde zeigen, dass das Lernen spezifisch ist für den Bereich im Gesichtsfeld, in dem die Reize während des Trainings dargeboten werden und es zeigt, dass Wahrnehmungslernen auch für Reize, die in der Peripherie der Netzhaut dargeboten werden, möglich ist. Insgesamt scheint es keinen Unterschied im Ausmaß der Verbesserung der Erkennensleistung zu geben zwischen Personen, die mit den großen Nonien trainierten und Personen die mit den kleinen Nonien trainierten. Statistisch lässt sich dies auf Grund der geringen Anzahl von Versuchspersonen nicht genauer untersuchen.

4.2. Elektrophysiologie

4.2.1 Vergleich der gefundenen Komponenten des visuell evozierten Potentials

Es wurden insgesamt vier Komponenten gefunden, während Ludwig und Skrandies (2002) und Shoji und Skrandies (2005) nur drei Komponenten beschrieben. Die erste Komponente

lag in der vorliegenden Untersuchung zwischen 58 ms und 106 ms, was sich sehr gut mit den Befunden von Ludwig und Skrandies (2002) deckt, wo die erste Komponente des VEP zwischen 56 ms und 104 ms lag. Die zweite Komponente zwischen 124 ms und 178 ms lässt sich noch mit der von Ludwig und Skrandies (2002) gefundenen zweiten Komponente bei 108 ms bis 148 ms vergleichen. Die dritte Komponente zwischen 196 ms und 264 ms dagegen ist am besten mit der zweiten Komponente von Shoji und Skrandies (2005) zwischen 180 ms und 260 ms vergleichbar und die letzte Komponente zwischen 292 ms und 390 ms entspricht sehr gut der letzten Komponente bei Shoji und Skrandies (2005) zwischen 280 ms und 340 ms.

Vergleicht man die Komponentenzeitfenster in den Potentialkarten, die auch bei Shoji und Skrandies (2005) zu finden sind, so sieht man, dass sich die Verteilung der positiven und negativen Hirnaktivität in den einzelnen Komponenten ähnelt. In der vorliegenden Studie ist die erste und die zweite Komponente von einer okzipitalen Positivität gekennzeichnet, die sich erst in der zweiten Hälfte der zweiten Komponente nach vorne verlagert. Diese okzipitale Positivität ist auch bei Shoji und Skrandies (2005) in der ersten Komponente zu finden und sie verlagert sich auch hier in der zweiten Komponente nach vorne. In der zweiten Hälfte der zweiten Komponente konnte in der vorliegenden Untersuchung mittig hinten eine Negativität festgestellt werden. Diese Negativität findet sich bei Shoji und Skrandies (2005) in der zweiten Hälfte der ersten Komponente. Die erste Komponente von Shoji und Skrandies (2005) ist also vergleichbar mit den ersten beiden Komponenten in der vorliegenden Untersuchung.

Während bei Shoji und Skrandies (2005) insgesamt eine Abnahme der GFP für den Kontrollreiz und eine Zunahme für den Trainingsreiz beobachtet wurde, konnten solche eindeutigen Effekte von Training auf die GFP in der vorliegenden Untersuchung nicht gefunden werden. Im Bereich der ersten Komponente kam es weder beim Trainings- noch beim Kontrollreiz zu signifikanten Veränderungen in der GFP (siehe Abbildungen 9 und 10). Im Bereich der zweiten Komponente kam es in beiden Bedingungen zu einer Zunahme der GFP. Bei dem Trainingsreiz ist es aber zu einer stärkeren Zunahme gekommen als beim Kontrollreiz und der Zeitbereich, in dem sich die GFP-Verläufe vor und nach dem Training unterscheiden beträgt beim Trainingsreiz 28 ms und beim Kontrollreiz nur 12 ms. Die Veränderung in der Amplitude der GFP durch das Training ist in der zweiten Komponente beim Trainingsreiz also deutlicher als beim Kontrollreiz.

In der dritten Komponente ist beim Kontrollreiz über einen Zeitraum von 18 ms und dann noch einmal über 6 ms eine signifikante Abnahme der GFP festzustellen. Beim Trainingsreiz kommt es in der dritten Komponente zwar auch zu einer Abnahme der GFP, aber zum einen ist diese Abnahme nur über einen kurzen Zeitraum von 6 ms signifikant und zum anderen kommt es beim Kontrollreiz in dem ungefähren Zeitraum zwischen 190 ms und 270 ms insgesamt zu einer Abnahme der GFP (wenngleich diese Abnahme nicht zu allen Zeitpunkten dieses Zeitraumes signifikant ist), während beim Trainingsreiz nur im Zeitraum zwischen 210 ms und 245 ms eine Abnahme der GFP zu erkennen ist, während zu den anderen Zeitpunkten die GFP in der dritten Komponente beim Trainingsreiz angestiegen oder zumindest unverändert geblieben ist.

Auch in der vierten Komponente steigt die GFP bei dem Trainingsreiz insgesamt an, auch wenn dieser Anstieg nur im Bereich zwischen 362 ms und 366 ms signifikant ist. Bei Kontrollreiz bleibt die GFP insgesamt eher gleich, ein Anstieg ist nur im Bereich zwischen 326 ms und 352 ms erkennbar, der jedoch nicht signifikant ist.

Insgesamt entsprechen diese Befunde den Befunden von Shoji und Skrandies (2005) zu decken. Das die Abnahme der GFP für den Kontrollreiz und die Zunahme der GFP für den Trainingsreiz in der vorliegenden Untersuchung weniger eindeutig ist als sie es bei Shoji und Skrandies (2005) war, könnte auch daran liegen, dass die vorliegenden Befunde auf den Daten von nur 10 Versuchspersonen basieren, während Shoji und Skrandies (2005) 24 Personen untersucht hatten.

Die Befunde von Ludwig und Skrandies (2002) ähneln den Befunden der vorliegenden Untersuchung und denen von Shoji und Skrandies (2005) dagegen kaum: Bei Ludwig und Skrandies (2002) kam es in der ersten und dritten Komponente zu keinen signifikanten Veränderungen in der GFP durch das Training und in der zweiten Komponente kam es zu einer signifikanten Abnahme der GFP nach dem Training. In dieser Studie wurden allerdings auch nur elektrophysiologische Daten für den Trainingsreiz erhoben. Ein Vergleich zwischen elektrophysiologischen Veränderungen zwischen Trainings- und Kontrollreiz ist hier also nicht möglich. Weiterhin benutzten Ludwig und Skrandies (2002) zwar auch Nonien als Reize in ihrer Untersuchung, diese waren aber anders angeordnet als in der vorliegenden Studie und der Untersuchung von Shoji und Skrandies (2005). Die Nonien waren hier auf einer imaginären horizontalen Linie angeordnet. Es waren insgesamt drei Nonien, wobei der mittlere Reiz den Fixationspunkt darstellte. Die Reize wurden für das Training auch nur in

einer Hälfte des Gesichtsfeldes dargeboten. Dies sind Unterschiede im Vorgehen, die zu den abweichenden Ergebnissen geführt haben könnten.

Basierend auf den Befunden der vorliegenden Untersuchung und denen von Shoji und Skrandies (2005) scheint es so, als führe Training zu einer Zunahme der GFP, während eine einfache Wiederholung einer Reizdarbietung zu einer Abnahme der GFP führt.

4.2.2 Topographische Veränderungen

Vergleicht man die Verteilung der positiven und negativen Aktivität der vorliegenden Untersuchung mit den Befunden von Shoji und Skrandies (2005) mittels der Potentialkarten, so finden sich keine erheblichen Unterschiede. Die Verteilung der positiven und negativen Aktivität in frontal-okzipitale Richtung, bzw. in rechts-links-Richtung ähnelt sehr der Verteilung wie sie bei Shoji und Skrandies (2005) in den Potentialkarten zu finden ist.

Bezüglich der Verschiebungen der Centroide durch das Training konnten in der vorliegenden Untersuchung keine Gemeinsamkeiten mit den Befunden von Shoji und Skrandies (2005) gefunden werden. Zwar gab es signifikante Verschiebungen (siehe Abschnitt 3.2.1.3), jedoch nicht zu den Zeitpunkten, wie dies bei Shoji und Skrandies (2005) der Fall war.

Betrachtet man die Verschiebungen auf der Y-Achse, so konnte festgestellt werden, dass sowohl die positive, als auch die negative Aktivität eher okzipital zu finden ist, wobei der positive Schwerpunkt deutlich weiter hinten liegt, als der negative Schwerpunkt. Zwischen 150 ms und 250 ms konnte für beide Schwerpunkte in beiden Bedingungen (Trainings- und Kontrollreiz) zu beiden Messzeitpunkten (vor dem Training, nach dem Training) eine deutliche Verschiebung festgestellt werden: Der positive Schwerpunkt verlagert sich nach vorne und der negative Schwerpunkt nach hinten.

Da dieser Effekt unabhängig von dem Messzeitpunkt (vor dem Training, nach dem Training) und der Bedingung (Trainingsreiz, Kontrollreiz) auftritt, ist nicht davon auszugehen, dass er durch das Lernen entstanden ist. Nur ein signifikanter Unterschied im Schwerpunktverlauf vor und nach dem Training und nur für den Trainingsreiz kann ein durch das Lernen entstandener Effekt sein. In der vorliegenden Untersuchung wurden aber sowohl für den Trainings- als auch für den Kontrollreiz ähnlich viele signifikante Unterschiede in den Schwerpunktverläufen gefunden (siehe Tabelle 1). Interessanterweise liegen die signifikanten Unterschiede für die Verläufe entlang der Y-Achse zeitlich für die Kontrollreize immer früher

als für die Trainingsreize und für die Verläufe entlang der X-Achse ist es genau umgekehrt. Dort liegen die signifikanten Unterschiede für die Kontrollreize zu späteren Zeitpunkten als bei den Trainingsreizen.

Shoji und Skrandies (2005) berichteten von einer Lateralisierung beider Centroide nach dem Training. Auch diese Beobachtung konnte in der vorliegenden Studie nicht repliziert werden. Entlang der X-Achse bewegen sich beide Centroide in beiden Bedingungen und zu beiden Messzeitpunkten sehr mittig und verschieben sich über den Zeitraum einer Messung hinweg kaum mehr als einen halben Elektrodenabstand. Der positive Schwerpunkt liegt auf der Y-Achse zwar deutlich okzipital, dies aber auch zu beiden Messzeitpunkten und in beiden Bedingungen.

Wie bereits oben erwähnt, sieht die topographische Verteilung der elektrischen Hirnaktivität in der vorliegenden Untersuchung und in der Untersuchung von Shoji und Skrandies (2005) ähnlich aus. Die genauere Analyse zeigte jedoch, dass bezüglich der Centroide wenige Gemeinsamkeiten in den beiden Studien existieren. Wir konnten keine Effekte finden, die typisch für das Lernen und den gelernten Reiz sind.

In den in Abschnitt 3.2.1.3 gezeigten Abbildungen 13 und 14 ist der Verlauf des positiven Schwerpunktes entlang der X-Achse, also in rechts-links-Richtung dargestellt. Die grauen Flächen markieren signifikante Unterschiede in den Verläufen vor und nach dem Training. Im Bereich der ersten Komponente (58 ms bis 106 ms) finden sich sowohl für den Trainings- als auch für den Kontrollreiz Zeitbereiche, in denen sich der Verlauf des Centroids vor dem Training signifikant von dem nach dem Training unterscheidet. Für den Trainingsreiz ist eine signifikante Verschiebung des positiven Schwerpunktes nach links und für den Kontrollreiz eine signifikante Verschiebung nach rechts zu beobachten. Dies ist allerdings die einzige Verschiebung, die für Trainings- und Kontrollreiz gegenläufig ist. Alle anderen Verschiebungen sind nicht miteinander vergleichbar, da sie in unterschiedlichen Zeitbereichen liegen. Nur der Verlauf des positiven Schwerpunktes entlang der Y-Achse weist für den Trainings- und den Kontrollreiz eine signifikante Verschiebung in ähnlichen Zeitfenstern auf: Für den Trainingsreiz wurde eine signifikante Verschiebung zwischen 206 ms und 212 ms gefunden, für den Kontrollreiz zwischen 202 ms und 222 ms. Allerdings verschiebt sich der positive Schwerpunkt hier nach dem Training für beide Bedingungen nach hinten. Hier ist also auch kein Effekt der Bedingung zu finden.

Literatur

- Chung, S., Levi, D. & Tjan, B. (2005). Learning letter identification in peripheral vision. *Vision Research*, 45, 1399-1412.
- Fahle, M. (2004). Perceptual learning: A case for early selection. *Journal of Vision*, 4, 879-890.
- Fahle, M. & Poggio, T. (2002). *Perceptual Learning*. Massachusetts: Bradford Book.
- Perrig, J.W. Implizites Lernen, in: Hoffmann, J. & Kintsch, W. (1996). *Enzyklopädie der Psychologie*. Serie 2, Band 7, Kapitel 5, S.293 - 234.
Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie
- Ludwig, I. & Skrandies, W. (2002). Human perceptual learning in the peripheral visual field: sensory thresholds and neurophysiological correlates. *Biological Psychology*, 59, 187-206.
- Oldfield, R.C. (1971). *The Assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory*. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Shoji, H. & Skrandies, W. (2005). ERP Topography and Human Perceptual Learning in the Peripheral Visual Field. *International Journal of Psychophysiology*. In Druck.

Anhang A

EEG-Experiment

5 VP-Stunden!!!

Ich suche im Rahmen meiner Semesterarbeit noch Versuchspersonen. Ich führe ein Experiment zum Wahrnehmungslernen durch. Mittels einer EEG-Messung möchte ich untersuchen, ob sich – wenn man die Wahrnehmungsaufgabe denn lernt – auf kortikaler Ebene etwas verändert oder ob der Lerneffekt einfach nur darauf zurückzuführen ist, dass sich die Augen den gegebenen Bedingungen anpassen. Die einzige Voraussetzung für das Experiment ist, dass ihr einen Visus von mind. 1 habt. Das haben aber die meisten Menschen und wir überprüfen das sowieso vor dem Experiment noch mal. ***Auch wenn ihr glaubt, sehr schlechte Augen zu haben, könnt ihr euch trotzdem eintragen, auch eine Brille oder Kontaktlinsen sind kein Problem!*** Bitte hinterlasst mir euren Namen, e-mail und evtl. Telefonnummer, ich kontaktiere euch dann und gebe auch gern weitere Informationen zu dem Experiment.

Name	e-mail	Telefon

Bei Fragen: Judith Nitsch
junisun@gmx.net
06406 – 1674
0177 - 7899344