

„Beeinflussung der Gedächtnisgenauigkeit durch die
anodale transkranielle Gleichstromstimulation über dem
linken präfrontalen Cortex“

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Aigeldinger, Sina

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Plewnia

2. Berichterstatterin: Professor Dr. M. Knipper-Breer

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	
Abkürzungsverzeichnis	
1 Einleitung	1
1.1 Gerichtetes Vergessen.....	2
1.1.1 Ironische Prozesse	5
1.1.2 Signalentdeckungstheorie	6
1.1.3 Falschgedächtnis.....	7
1.1.4 Fuzzy Trace Theory.....	8
1.1.5 Theorie der Aktivierungsausbreitung	9
1.2 Der präfrontale Cortex.....	10
1.2.1 Anatomie des präfrontalen Cortex	11
1.2.2 Der präfrontaler Cortex und seine Funktion.....	12
1.2.3 Schädigung des linken präfrontalen Cortex	14
1.3 Transkranielle Gleichstromstimulation	15
1.4 Innovative Ansätze unserer Studie.....	19
1.5 Zielsetzungen unserer Studie	21
2 Material und Methoden.....	23
2.1 Stichprobe.....	23
2.2 Versuchsanordnung.....	26
2.3 Versuchsablauf	27
2.3.1 Fragebögen	28
2.3.1.1 Edinburgh-Händigkeitsfragebogen.....	28
2.3.1.2 State-Trait-Angstinventar (STAI-G).....	28
2.3.1.3 Beck-Depressions-Inventar (BDI-II)	29
2.3.2 Transkranielle Gleichstromstimulation	29
2.3.3 Lernphase.....	30
2.3.4 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (D2)	31
2.3.5 Wiedererkennungsphase.....	32
2.3.6 Bewertung der Bilder anhand ihres Aktivierungscharakters	33
2.4 Erfassung der Verhaltensdaten und statistische Analyse	34
2.4.1 Datenerfassung	34
2.4.2 Datenauswertung und statistische Analyse	34

3	Ergebnisse	36
3.1	Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Gedächtnisgenauigkeit	36
3.1.1	Untersuchung der Gedächtnisgenauigkeit (PR)	36
3.1.2	Korrektes Erinnern (Hits)	38
3.1.3	Falsches Erinnern (FA).....	40
3.2	Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Antwortgeschwindigkeit	42
3.3	Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Aufmerksamkeit.....	43
4	Diskussion.....	44
4.1	Diskussionseinleitung: Gedächtnisgenauigkeit und Gerichtetes Vergessen.....	44
4.2	Gerichtetes Vergessen.....	46
4.2.1	Allgemeine Diskussion über das Gerichtete Vergessen	46
4.2.2	Fehlende Reproduzierbarkeit des Gerichteten Vergessens-Effekts beim Falschen Erinnern	47
4.2.3	Eingliederung und Erläuterung der „Instruktion Irrelevant“	50
4.3	Transkranielle Gleichstromstimulation	53
4.3.1	Allgemeine Diskussion über die transkranielle Gleichstromstimulation und ihre Wirkung.....	53
4.3.2	Limitation	54
4.3.3	Beeinflussung des Falschgedächtnisses durch die anodale transkranielle Gleichstromstimulation.....	56
4.3.4	Beeinflussung der Enkodierung der aktiv zu merkenden und zu vergessenden Bilder durch die anodale Gleichstromstimulation	59
5	Zusammenfassung.....	61
6	Literaturverzeichnis	63
7	Veröffentlichung	71
8	Eigenanteil	72
9	Danksagung.....	73
10	Anlagen	74
10.1	Edinburgh-Händigkeitsfragebogen.....	74
10.2	State-Trait-Angstinventar	75
10.3	Beck-Depressions-Inventar.....	77
10.4	Bewertung der Bilder anhand ihres Aktivierungscharakters.....	79

Abkürzungsverzeichnis

ACT	Aktivierungsausbreitung (engl. a spreading activation theory)
ANOVA	Varianzanalyse (engl. Analysis of Variance)
BDI	Beck-Depressions-Inventar
COMT	Catechol-O-Methyltransferase
DF	Gerichtetes Vergessen in der Item-Methode (engl. directed forgetting)
DLPFC	Dorsolateraler präfrontaler Cortex
EEG	Elektroenzephalographie
ERPs	Event-related potentials (ereigniskorrelierte Potentiale)
F	Vergessen (engl. forget; Paradigma des Gerichteten Vergessens)
FA	Falscher Alarm (engl. False Alarm)
FTT	Fuzzy Trace Theorie
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
gM	Gist memory (unscharfes Gedächtnis; FTT)
I	Irrelevant (neue Instruktion; Paradigma des Gerichteten Vergessens)
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
PANAS	Positive and Negative Affect Schedule
PFC	Präfrontaler Cortex
PR	Diskriminationsindex
PTBS	Posttraumatische Belastungsstörung
R	Merken (engl. remember; Paradigma des Gerichteten Vergessens)
SCL-90	Symptom-Checklist
SDT	Signal Detection Theory
Sham	Scheinstimulationsbedingung
STAI	State-Trait-Angstinventar
TBF	Zu vergessende Bilder (engl. to be forgotten items; Paradigma des Gerichteten Vergessens)

TBI	Irrelevante Bilder (engl.to be irrelevant; zusätzliches Item; Paradigma des Gerichteten Vergessens)
TBR	Zu merkende Bilder (engl.to be rememberd items; Paradigma des Gerichteten Vergessens)
tDCS	Transkranielle Gleichstromstimulation (engl. transcranial direct-current stimulation)
v.a.	vor allem
Verum	Anodale Stimulationsbedingung
VLPFC	Venterolateraler präfrontaler Cortex
vM	Verbatime memory (wörtliches Gedächtnis; FTT)

1 Einleitung

„Ein gutes Gedächtnis ist ein Fluch, der einem Segen ähnlich sieht“. (Harold Pinter)

Das „Vergessen“ wird heutzutage oft mit dem Älter werden, Demenz und Schwäche assoziiert. Für unser Leben ist es jedoch von großer Notwendigkeit gewisse Dinge vergessen zu können. Es ist von Vorteil, wenn man in der Lage ist, das alte Passwort, unnütze Telefonnummern, unglückliche Zeiten und störendes Wissen aus dem Gedächtnis verdrängen zu können und gleichzeitig dafür neue Inhalte einzuspeichern. Man nimmt an, dass die kognitive Kontrolle, welche für die Selektion, Speicherung und den Abruf von Gedächtnisinhalten verantwortlich ist, u.a. eine exekutive Funktion des präfrontalen Cortex (PFC) ist. Das menschliche Gedächtnis arbeitet in der Regel unauffällig und zuverlässig. Erst Fehlfunktionen der Gedächtnisleistung machen das bewusst. Auch Gedächtnisprozesse gesunder Menschen unterliegen unbewusst Störungen und Verzerrungen. Häufig sind Gedächtnisstörungen jedoch Symptome neurologischer und psychologischer Erkrankungen. So haben Patienten mit einer Posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS) Schwierigkeiten traumatische Erlebnisse zu vergessen und deren wiederholtes Auftreten bewusst zu kontrollieren. Ein seltenes, jedoch eindeutiges Beispiel stellt das hyperthymestische Syndrom dar. Diese Patienten leiden unter einer starken Ausprägung des episodischen Gedächtnisses, wodurch sie einen Großteil ihrer persönlichen Erfahrungen detailgetreu abrufen können.

Lange Zeit wurde das Vergessen als ein passiv und autonom ablaufender Prozess angesehen, bei welchem nicht verwendete Gedächtnisspuren nach einiger Zeit verloren gehen. Zwischenzeitlich nahm man an, dass es sich beim Vergessen um ein Nichtauffinden noch vorhandener Gedächtnisinhalte handelt (Brown, 1991). Vermutlich sind jedoch inhibitorische Prozesse ausschlaggebend, welche v.a. die Speicherung und den Abruf irrelevanter Informationen verhindern und so ein zielgerichtetes Erinnern wichtiger Informationen ermöglichen (Rizio & Dennis, 2013). Diese inhibitorischen

Einleitung

Prozesse können zum einen willentlich und zum anderen unbewusst automatisch initiiert werden.

Zur Überprüfung der Gedächtniskontrolle wird in unserer Studie das Paradigma des Gerichteten Vergessens angewandt (Weiner & Reed, 1969). Das Gerichtete Vergessen (engl. directed forgetting; DF) soll verdeutlichen, dass Gedächtnisinhalte willentlich und zielgerichtet vergessen werden können. Hauptsächlich wird in unserer Studie jedoch der aktivitätsabhängige Effekt der transkraniellen Gleichstromstimulation (engl. transcranial direct-current Stimulation; tDCS) auf das DF sowie die Gedächtnisgenauigkeit untersucht. Dieser innovative Ansatz zur Untersuchung des DF soll ein erweitertes Verständnis für die Entstehung des DF und der Gedächtniskontrolle bringen. Weiterhin fördert es das Verständnis für die neurophysiologischen Abläufe, welche während der kognitiven Kontrolle aktiv sind. Diese Erkenntnisse könnten von Bedeutung für die Wissenschaft und für mögliche neue Therapieansätze sein.

1.1 Gerichtetes Vergessen

Beim DF werden den Probanden in der Lernphase zu lernende Reize präsentiert, die darauffolgend mit den Instruktionen „merke dir (engl. remember; R) oder vergesse (engl. forget; F) das Bild“ versehen sind. In der nachfolgenden Wiedererkennungsphase werden alle Reize, unabhängig mit welchen Instruktionen sie in der Lernphase versehen wurden, abgefragt. DF-Studien zeigen im Allgemeinen, dass die zu merkenden Reize (engl. to-be-remembered-items; TBR) besser abgerufen werden können, als die zu vergessenden Reize (engl. to-be-forgotten-items; TBF). Das DF ermöglicht die Untersuchung von zielgerichtetem Erinnern von Gedächtnisinhalten.

Beim DF wird im Bezug auf das verbale Gedächtnis die Listen-Methode von der Item-Methode unterschieden. Bei der Listen-Methode werden den Probanden zwei Listen mit mehreren Reizen präsentiert. Hinter jeder Liste erscheint dann eine Instruktion, welche angibt, wie die vorangegangenen Reize verarbeitet

Einleitung

werden sollen, d.h. es erscheint entweder die Instruktion R oder F. In der Listen-Methode tritt der DF-Effekt allerdings nicht im Wiedererkennungstest (Recognition-Test), sondern nur bei der freien Wiedergabe der Reize (free Recall) auf. Man vermutet, dass die Ursache beim Wiederabrufen in einer Hemmung der TBF-Reize liegt (Basden, Basden, & Morales, 2003). D.h. die TBF-Reize werden abgespeichert, können jedoch ohne eine Instruktion, wie beim Wiedererkennungstest, nicht aktiv abgerufen werden.

In unserer Studie wird die Item-Methode verwendet, weshalb schwerpunktmäßig v.a. dieses Verfahren beschrieben wird. Hier wird, im Gegensatz zu der Listen-Methode, jeder Reiz einzeln präsentiert und nach jedem Stimulus erfolgt entweder die Instruktion R oder F. In der Item-Methode entsteht DF sowohl im Wiedererkennungstest, als auch beim freien Abruf der Reize (Basden, Basden, Coe, Decker, & Crutcher, 1994). Dieser Unterschied zur Listen-Methode besteht höchstwahrscheinlich aufgrund der unterschiedlichen neuronalen Verarbeitungswege der Reize. In der Item-Methode werden die Kodierungsprozesse und die Präsentation der Gedächtnisinhalte direkt beeinflusst. Die TBR- und TBF-Reize werden vom Probanden, bis zur Präsentation der Instruktion, in einer Art Warteschleife gehalten. Erst nach der Darstellung der Instruktion werden unterschiedliche Verarbeitungswege eingeschlagen. Die TBR-Reize werden weiter neuronal verarbeitet und ständig wiederholt bis der nächste Stimulus präsentiert wird. Bei den TBF-Reizen nimmt man hingegen an, dass die neuronale Weiterverarbeitung und Kodierung der Gedächtnisinhalte aktiv inhibiert wird (Geiselman & Bagheri, 1985; Hauswald, Schulz, Iordanov, & Kissler, 2011; Paz-Caballero, Menor, & Jimenez, 2004). Der zu vermutende Unterschied zwischen den TBR- und TBF-Reizen ist also die unterschiedliche Kodierung der Gedächtnisinhalte (Hourihan & Taylor, 2006).

Es wurden mehrere Studien durchgeführt, die der Bestimmung des Gehirnareals dienen, in welchem die Reizverarbeitung und Enkodierung stattfindet. Für die Verarbeitung der TBF-Reize detektierte man v.a. im Elektroenzephalogramm (EEG) frühe Ereignis-korrelierte Potentiale (engl. event-related potentials=ERPs) über dem präfrontalen Cortex (PFC) (Paz-

Einleitung

Caballero et al., 2004). Die Zuordnung eines Gehirnareals für die TBR-Reize ergab jedoch kein einheitliches Ergebnis. Es wurden in verschiedenen Studien unterschiedliche Verarbeitungsorte festgestellt. Zum einem fand man im parietalen Cortex frühe ERPs (Paz-Caballero et al., 2004). In einer funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) Studie von Wylie und Kollegen (2008) zeigte sich hingegen eine verstärkte Aktivität für TBR-Reize im linken dorsolateralen präfrontalen Cortex (DLPFC) (Wylie, Foxe, & Taylor, 2008). Die Mehrheit der Studien zur Bestimmung des Verarbeitungsortes der TBR- und TBF-Reize stellten eine verstärkte Aktivität im linken PFC fest (Bastin et al., 2012; Kim & Cabeza, 2007; Kubota et al., 2006).

Man ging anfangs davon aus, dass nur verbal zu verarbeitende Reize DF aufzeigen, d.h. Wörter oder einfache Bilder die verbalisiert werden können (Earles & Kersten, 2002; Hourihan & Taylor, 2006). Allerdings fand man in einer Studie DF auch für komplexe Bilder (Hauswald & Kissler, 2008; Zwissler et al., 2012; Zwissler, Koessler, Engler, Schedlowski, & Kissler, 2011). Auch in unserer Studie werden diese Art von Stimuli verwendet.

Darüber hinaus wird in unserer Studie zur Untersuchung des DF die neue Instruktion Irrelevant (I) eingeführt. Das bedeutet, dass zusätzlich zu den beiden klassischen aktiven Verarbeitungshinweisen R und F eine dritte möglichst neutrale Instruktion I mit dem Begriffsinhalt „der vorangegangene Reiz hat keine Bedeutung“ hinzukommt.

Eine häufige Kritik an DF-Studien ist die soziale Erwünschtheit. D.h. dass Probanden den sozialen Erwartungen des Versuches entsprechen wollen und nur vortäuschen die F-Reize vergessen zu haben (MacLeod, 1999). Dieser Kritik wollen wir in unserer Studie vorbeugen, indem wird den Probanden als Anreiz eine bessere Vergütung pro richtige Antwort versprochen.

1.1.1 Ironische Prozesse

Die sogenannten ironischen Prozesse wurden erstmals von Wegner (1994) beschrieben. Diese paradoxen Effekte der kognitiven Kontrolle treten beim Versuch der Gedankenunterdrückung auf und beschreiben das Phänomen, dass sich manche Gedanken nicht mehr aus dem Bewusstsein verdrängen lassen. Als typisches Beispiel hierfür gilt das „Polarbär-Experiment“ von Wegner (Wegner, 1994). Man forderte Probanden auf nicht mehr an einen weißen Bären zu denken. Es war diesen allerdings kaum möglich den Gedanken an den weißen Bären zu unterdrücken. Die Probanden gaben zusätzlich an, dass der Gedanke an den weißen Bären vermehrt nach Beendigung des Experimentes, auftrat. Laut Wegner (1994) gibt es zwei Systeme, welche an der Gedankenunterdrückung beteiligt sind. Zum einen den automatischen Teil des Systems, den Monitor. Er sucht nach unerwünschten Gedanken, die aus dem Bewusstsein gedrängt werden sollen. Daraufhin schreitet das kontrollierende System, der Operator, ein und versucht bewusst durch andere Themen von diesem Gedanken abzulenken (Wegner, 1994). Schwierig wird es, wenn der Operator beispielsweise aufgrund von gedanklichem Stress, Müdigkeit oder Ablenkung, in seiner Funktion eingeschränkt ist. In diesem Fall kann es aufgrund von mangelnder Kontrolle des Operators zur übermäßig starken Präsenz des ungewollten Gedanken kommen (Aronson, Wilson, & Akert, 2008). Solche Prozesse sind auch bei neurologischen und psychischen Erkrankungen zu erkennen. V.a. Depressive oder Suchtkranke versuchen unangenehme und negative Gedanken aus ihrem Gedächtnis zu streichen. Gerade durch die oben benannten Prozesse ist dieser Versuch oft vergeblich. Übertragen auf die Reize im DF-Paradigma könnte das bedeuten, dass die aktiven Instruktionen R und F, welche den Probanden darauf hinweisen, wie er den vorherigen Stimulus zu verarbeiten hat, die Aufmerksamkeit auf diese Reize erhöhen. Und somit der TBF-Reiz, der eigentlich verdrängt und vergessen werden sollte, durch die Alarmierung und ironischen Prozesse eine stärkere Präsenz hat, als der neue passive TBI-Reiz.

1.1.2 Signalentdeckungstheorie

Unterschiedliche Menschen haben variierende Antworttendenzen. Ist man sich beispielsweise einer Antwort auf eine Frage nicht sicher, so gibt es drei Möglichkeiten zu antworten: „Ja“, „Nein“ und „Ich weiß es nicht“. In der Häufigkeit für eine Antwort und der Reaktion auf die Frage spiegeln sich die individuellen Einstellungen und die Persönlichkeit wieder. So neigen bestimmte Persönlichkeitstypen häufiger dazu die Antwort Ja zu wählen, was man auch als Ja-Sage-Tendenz oder Akquieszenz bezeichnet. Weiterhin wird die Antworttendenz von der Umgebung und der sozialen Situation beeinflusst. Das bedeutet, dass beachtet werden sollte, dass Antworten von persönlichen Einstellungen verzerrt werden können.

Außerdem kann man unter gewissen Umständen Reize besser wahrnehmen, als unter anderen. Solche Umstände sind persönliche Variablen, wie die Motivation, Müdigkeit oder die emotionale Verfassung sein. Die beiden Variablen, die Antworttendenz und der Umwelteinfluss, werden zusätzlich in der Signalentdeckungstheorie (engl. Signal Detection Theory; SDT), welche 1966 von John A. Swets und David M. Green entwickelt wurde, beachtet (Green & Swets, 1966) . Beim Ursprungsexperiment der SDT werden den Probanden Geräuschbeispiele vorgespielt, die entweder nur ein Rauschen oder ein Rauschen und einen kaum wahrnehmbaren Ton enthalten. Die Probanden müssen dabei angeben, ob sie einen Ton vernommen haben oder nicht. In der SDT interessieren v.a. die Antworttendenzen der Probanden. Manche entscheiden sich im Zweifelsfall häufiger für „ja, ich habe einen Ton gehört“ (liberales Kriterium), während andere eher „nein, ich habe keinen Ton gehört“ antworten (konservatives Kriterium).

Tabelle 1 Theoretische Antwortmöglichkeiten in der Signalentdeckungstheorie

	Reiz vorhanden	Reiz nicht vorhanden
Ja-Antwort	Treffer (Hit)	Falscher Alarm (FA)
Nein-Antwort	Auslassung	Korrekte Ablehnung

Probanden mit einer hohen Ja-Sage-Tendenz (niedriges Antwortkriterium) erzielen meist viele Hits, gleichzeitig aber auch viele Falschen Alarme (engl. False Alarm; FA), während Probanden mit einem hohen Antwortkriterium weniger Hits aber auch weniger Falsche Alarme erzielen. Falsche Alarme sind definiert als falsch positive Reize (Tabelle 1).

1.1.3 Falschgedächtnis

Die Erinnerungsverfälschung (EV) spielt in unserer Studie, bezogen auf die Falschen Alarme, eine wichtige Rolle. Die Erinnerungsverfälschung beschreibt die unabsichtliche und unbewusste Veränderung von Gedächtnisinhalten. Im Gegensatz zur Lüge hält der Aussagende seine Angaben für wahr. Die Erinnerungsverfälschung lässt sich leicht durch Bildmaterial induzieren. In einer Studie zeigte die Psychologin K. Wade et. Al (2010) zwanzig Probanden manipulierte Bilder aus deren Kindheit. Auf diesen Bildern waren die Probanden in einem Heißluftballon zu sehen. Diese Flüge hatten jedoch nie stattgefunden. Trotzdem waren 50% der Probanden fest davon überzeugt, sich an diese Fahrt erinnern zu können (Wade, Garry, Nash, & Harper, 2010).

Wie in Studien gezeigt wurde, wird die Erinnerungsverfälschung v.a. durch Stress und dessen Auswirkung auf den PFC und den Hippocampus, ausgelöst (Payne, Nadel, Allen, Thomas, & Jacobs, 2002). Man vermutet, dass v.a. die gestörte Funktion des PFC und eine zu schwache Inhibition dieser Areale ausschlaggebend für die Entstehung einer Erinnerungsverfälschung sind (Butler, McDaniel, Dornburg, Price, & Roediger, 2004). Zusätzlich geht man davon aus, dass die bildliche Vorstellungskraft (Gonsalves et al., 2004) sowie sprachassoziierte Areale (Garoff-Eaton, Slotnick, & Schacter, 2006) an der Entstehung der Falschen Alarme beteiligt sind. Weiterhin verstärken erregende Reize den Effekt der Erinnerungsverfälschung im Wiedererkennungstest (Corson & Verrier, 2007). Außerdem korreliert die Erinnerungsverfälschung laut Studien signifikant mit der Intelligenz, Wahrnehmungsvermögen und Gedächtnisleistung. Je niedriger die Intelligenz und die Gedächtnisleistung, um so mehr Falsche Alarme werden produziert (Zhu et al., 2010).

1.1.4 Fuzzy Trace Theory

Charles Brainerd und Valerie Reyna beschrieben 1995 erstmals die Fuzzy Trace Theorie (FTT). Sie stellt einen dualen Verarbeitungspfad von Reizen dar (Reyna & Brainerd, 1995). Somit ist die Fuzzy Trace Theorie ein Erklärungsansatz für die Entstehung der Erinnerungsverfälschung sowie für die Täuschung in der Entscheidungs- und Urteilsfindung. Der duale Verarbeitungspfad besteht einerseits aus dem wörtlichen Gedächtnis (engl. verbatim; vM) und andererseits aus dem Hauptwortgedächtnis (engl. gist; gM). Dargebotene Reize werden parallel über diese beiden Pfade eingespeichert und wenn möglich auch abgerufen. VM beschreibt die detailgetreue Abspeicherung von Gedächtnisinhalten, während gM den Reiz ungenau in Hauptgruppen einteilt. Der Abruf von Gedächtnisinhalten erfolgt bei Erwachsenen hauptsächlich über das gM (Wilhelms & Reyna, 2013). Dadurch gehen Reizdetails verloren, das Verständnis für den Gesamtzusammenhang hingegen steigt. Das gM stellt eine Interpretation der Informationen dar, welches die wichtigsten Kernpunkte aus der Gesamtinformation zieht (Wilhelms & Reyna, 2013). Weiterhin hilft es schnelle Entscheidungen zu treffen. Kinder und Jugendliche hingegen speichern die zu merkenden Informationen eher über das vM ab (Wilhelms & Reyna, 2013). Der vM Pfad ist genauer, wird jedoch im Gegensatz dazu häufiger aus dem Gedächtnis verdrängt. Erwachsene suchen im Gegensatz zu den Jugendlichen in ihren Informationen nach Sinn, Bedeutung und Inhalt. Diese Vermutung von Wilhelms und Reyna (2013) ist ein Erklärungsansatz für die Unterschiede zwischen Jugendlichen und Erwachsenen in ihrer Art Entscheidungen zu treffen, Urteile zu fällen und logische Schlussfolgerungen zu ziehen (Wilhelms & Reyna, 2013).

Beide Pfade zusammen unterstützen den Abruf und die Entstehung des detailgetreuen Gedächtnisinhaltes, während das gM v.a. für die Entstehung des Falschgedächtnisses verantwortlich ist (Brainerd & Reyna, 2002). Im Gegensatz dazu hemmt das vM die Entstehung des Falschgedächtnisses.

1.1.5 Theorie der Aktivierungsausbreitung

Die Theorie der Aktivierungsausbreitung (engl. a spreading activation theory; ACT) wurde 1975 erstmals von Collins und Loftus formuliert (Collins & Loftus, 1975). Diese Theorie beschreibt einen Erklärungsansatz v.a. für semantische und verbale Konzepte und deren Verarbeitungs-, Enkodierungs- und Abrufungswege im Gehirn. Collins und Loftus (1975) gehen davon aus, dass Informationen über assoziative, neuronale und semantische Netzwerke miteinander verknüpft sind. Man kann sich die einzelnen, zu merkenden Informationen, als Knotenpunkte in einem großen Netzwerk vorstellen. Wird einer dieser Knotenpunkte beim Abruf einer Informationen aktiviert, breitet sich diese Aktivierung über die assoziativen neuronalen Verknüpfungen auf andere Knotenpunkte aus, welche mit der abgerufenen Information in Verbindung stehen (Collins & Loftus, 1975). Sieht eine Person einen Hasen, stellt der Hase den ersten wichtigen aktivierten Knotenpunkt dar. Gleichzeitig können jedoch über die neuronalen Netzwerke Knotenpunkte wie Karotte, Heu, Ostern und Haustier aktiviert werden, da die Person diese mit dem Hasen assoziiert. Die Knotenpunkte können durch verschiedene neuronale Assoziationen öfters aktiviert werden, so kann der Knotenpunkt Heu den Knotenpunkt Feld aktivieren, welcher dann erneut den Knotenpunkt Karotte aktiviert. Die Knotenpunkte mit dem höchsten Aktivierungsniveau werden abgerufen und wiedererkannt. Je häufiger ein Knotenpunkt und seine assoziativen neuronalen Netzwerke aktiviert werden, d.h. je öfter sie gelernt und abgerufen werden, umso stärker wird die Verknüpfung der Knotenpunkte untereinander (Anderson, 1983). Wiederum gilt, je stärker das Aktivierungsniveau ist, umso wahrscheinlicher ist der Abruf der gelernten Information (Anderson, 1983). Laut Anderson (1983) kann die ACT eine Vorhersage über die Überlagerung von Gedächtnisinhalten treffen. Auch Roediger und McDermott (1995) nahmen die ACT zur Hilfe, um die Entstehung des Falschgedächtnisses zu beschreiben (Roediger & McDermott, 1995). In Roedigers und McDermotts (1995) Studie wird die Listen-Methode verwendet. Sie gehen davon aus, dass es beim Abruf der zu merkenden Wörter zur Aktivierung mehrerer Knotenpunkte kommt und

somit auch zur Aktivierung solcher Knotenpunkte, welche während des Experimentes nicht präsentiert worden sind. Werden diese Knotenpunkte trotzdem abgerufen, erklärt dies das Falschgedächtnis (Roediger & McDermott, 1995).

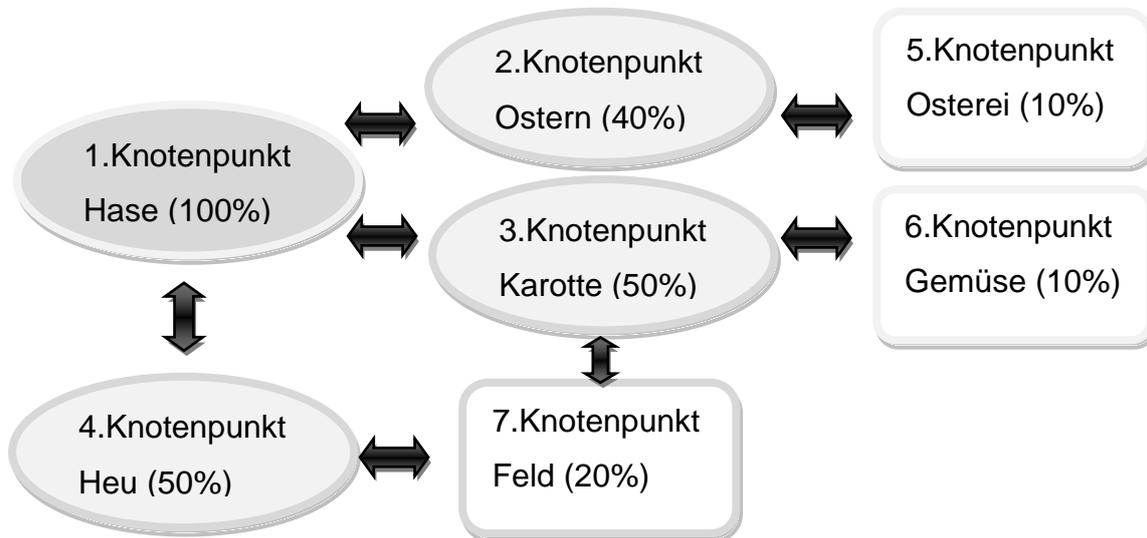


Abbildung 1 Ein Beispiel der Aktivierungsausbreitungstheorie. Die Aktivierung entsteht am 1. Knotenpunkt, z.B. beim Anblick eines Hasen, mit einem initialen Aktivierungsniveau von 1.0 (100%). Die Aktivierung breitet sich in unterschiedlichen Ausprägungen auf die weiteren Knotenpunkte, welche mit dem Hasen assoziiert sind, aus. Die unterschiedlichen Farben stellen die verschiedenen Aktivierungsniveaus dar.

1.2 Der präfrontale Cortex

In unserer Studie wählten wir den linken DLPFC als Ort der Gleichstromstimulation aus. Grundsätzlich werden dem PFC sowohl die Verarbeitung der TBR- und TBF-Reize, als auch die kognitiven Kontrollprozesse zugeschrieben (Matsumoto & Tanaka, 2004). Der DLPFC ist, wie unten noch weiter erläutert, eine Teilregion des PFC.

Hanslmayer et. al gehen davon aus, dass der DLPFC eine wichtige Rolle beim gezielten Vergessen und somit beim DF spielt (Hanslmayr et al., 2012). Grundsätzlich besteht die Annahme, dass die Ausbildung einer neuronalen Synchronität zwischen Zellgruppen wichtig für die Einspeicherung und Bildung neuer Gedächtnisinhalte ist. In ihrer Studie untersuchten Hanslmayer et. al mit Hilfe des EEGs und fMRTs die neuronalen Prozesse, welche während des DF von Bedeutung sind. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es beim DF gleichzeitig

mit dem Absinken der neuronalen Synchronität zu verstärkten blood oxygen level dependent Signalen (BOLD) im DLPFC kommt. Weiterhin führten sie während der DF-Aufgabe eine transkranielle Magnetstimulation des DLPFC durch, welche dazu führte, dass es zur Verminderung der neuronalen Synchronität und somit zur Steigerung des DF-Effekts kam (Hanslmayr et al., 2012). McDermott et al. (2000) führten, wie in unserer Studie, mit ihren Probanden einen Wiedererkennungstest durch. Beim korrekten Abruf der Gedächtnisinhalte beobachteten sie eine gesteigerte Aktivität des DLPFC sowie des anterioren PFC im fMRT (McDermott, Jones, Petersen, Lageman, & Roediger, 2000). Deshalb wählte man in unserer Studie den DLPFC als Ort der Gleichstromstimulation aus.

1.2.1 Anatomie des präfrontalen Cortex

Der PFC ist ein Teil des Frontallappens der Großhirnrinde. Der Frontallappen wird in den primär somatomotorischen Cortex (Area 4), den prämotorischen Cortex (Area 6), das frontale Augenfeld (Area 8), das Broca-Areal (Areal 44) und den PFC (Area 9-11) unterteilt.

Der PFC strukturiert sich in einen orbitofrontalen, medialen und lateralen Anteil. Wobei sich der laterale PFC in einen dorsolateralen (DLPFC) und einen venterolateralen (VLPFC) Teil aufgliedert. Der PFC ist eines von mehreren tertiären Arealen des Assoziationscortex.

Insgesamt werden sekundäre und tertiäre Assoziationsfelder unterschieden. Die sekundären Regionen erhalten Sinnesinformationen von einem primär sensorischen Areal und somit von einem einzelnen Sinnesorgan. Sie verarbeiten diese auf einer höheren Ebene zu einem komplexen Muster. Die tertiären Areale hingegen verknüpfen die Sinnesinformationen mehrerer sekundärer Regionen miteinander. Histologisch gesehen besitzt der hintere Frontallappen einen agranulären und der PFC einen granulären Schichtaufbau, in dem v.a. die dritte Schicht, mit ihren Assoziationsfasern, stark ausgeprägt ist.

Einleitung

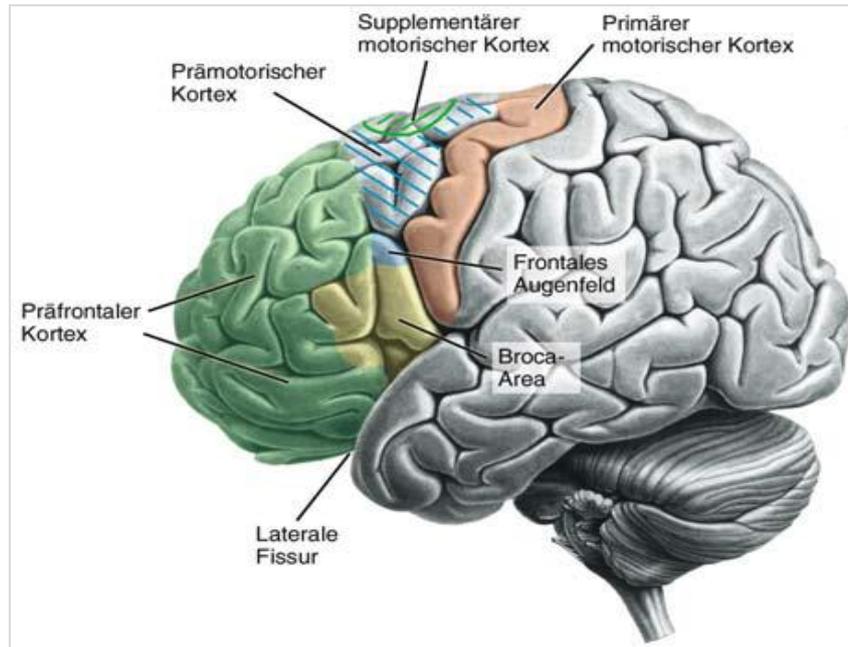


Abbildung 2 Anatomische Abbildung des Frontallappens (Karnath & Thier, 2006)

1.2.2 Der präfrontaler Cortex und seine Funktion

Der PFC wird insgesamt mit höheren kognitiven Funktionen, der Kontrolle von Emotionen und dem Sozialverhalten in Verbindung gebracht. Diese Aufgaben kann der PFC übernehmen, da er im bidirektionalen Informationsaustausch mit vielen Bereichen des Neocortex, Thalamus und Hirnstammes steht. Über die nicht-primär sensorischen Gehirnbereiche werden ihm gleichzeitig Informationen aus der Umwelt und dem Organismus zugetragen. Im Gegenzug kommuniziert er mit dem sensomotorischen Cortex. Somit ist der Mensch in der Lage innere und äußere Einflüsse zu verknüpfen und in eine adäquate Reaktion umzuwandeln.

Laut Miller und Cohen (2001) ist der PFC an der kognitiven Kontrolle beteiligt (Miller & Cohen, 2001). Die kognitive Kontrolle steht für eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse, welche die Informationsverarbeitung beeinflussen und somit ein zielgerichtetes Verhalten ermöglichen. Kognitive Kontrollprozesse sind v.a. in Situationen bedeutend, in denen es zur Präsentation konkurrierenden Sinnesinformationen kommt, welche zu unterschiedlichen Verhalten führen könnten. Zusätzlich regeln die Netzwerke der kognitiven

Einleitung

Kontrolle sowohl das kurzfristige Aktivierungsniveau, als auch die längerfristige Aufrechterhaltung des Aktivierungszustandes und somit der Aufmerksamkeit.

Weiterhin wird dem PFC die modulatorische Funktion der sogenannten „top-down Prozesse“ zugeschrieben (Cohen, Servan-Schreiber, & McClelland, 1992). Somit ist der PFC für die Interpretation und Verarbeitung der Sinneswahrnehmungen verantwortlich sowie für die nicht-stereotypischen flexiblen Verhaltensmuster in neuen Situationen.

Weiterhin geht man davon aus, dass der PFC an der Generierung des Falschgedächtnisses und somit an der Entstehung von Falschen Alarmen beteiligt ist (Kim & Cabeza, 2007; Kubota et al., 2006). FMRI Studien besagen, dass Falsche Alarme bezogen auf ähnliche, schon gesehene (related) Stimuli vergleichbare neuronale Aktivitäten im PFC erzeugen, wie Hits. Falsche Alarme bei neuen, unähnliche (unrelated) Stimuli hingegen generieren neuronale Aktivität in sprachassoziierten Regionen (Garoff-Eaton et al., 2006).

Die unterschiedlichen Funktionen werden verschiedenen Arealen des PFC zugeschrieben. Der DLPFC ist in unserer Studie der Ort der Gleichstromstimulation. Er ist vermutlich v.a. an kognitiven Kontrollprozessen beteiligt. Durch Experimente an Patienten mit DLPFC-Läsionen (Baddeley, 1992), Studien mit bildgebenden Verfahren (Jonides et al., 1993) und Experimenten an nichtmenschlichen Primaten (Goldman-Rakic, 1992) konnte gezeigt werden, dass kognitive Funktionen in Bezug auf das Arbeitsgedächtnis, Selektion, Inhibition und Multitasking ihren Sitz im DLPFC haben. Einige Studien deuten daraufhin, dass der VLPFC und der DLPFC unterschiedliche Aufgabengebiete im Arbeitsgedächtnisprozess übernehmen (Owen, Downes, Sahakian, Polkey, & Robbins, 1990; Rushworth, Nixon, Eacott, & Passingham, 1997). Neuere Untersuchungen mit funktioneller Bildgebung zeigten, dass im VLPFC v. a. die Aufrechterhaltung von Informationen und im DLPFC vermehrt die zielgerichtete Verarbeitung derselben Informationen stattfindet (Funahashi, 2006). Weiterhin konnte an nichtmenschlichen Primaten gezeigt werden, dass dem DLPFC auch eine zentrale Bedeutung für die Funktion des räumlichen Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben wird (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001).

1.2.3 Schädigung des linken präfrontalen Cortex

Die Schädigung einer Hirnregion mit ihren Ausfällen weist auf die eigentliche Funktion des Gebietes hin. Es gibt mehrere Studien welche die Schädigung des linken PFC in Bezug auf Gedächtnisstörungen untersuchen. Eine dieser Studien beschreibt die Folgen eines rupturierten Aneurysmas der A.cerebri anterior im linken PFC des Patienten JB. Dieser Patient leidet unter schweren Gedächtnisstörungen, welche v.a. durch eine hohe Falsch-Alarm-Rate im Wiedererkennungstest und einen verminderten freien Abruf von Gedächtnisinhalten gekennzeichnet sind (Parkin, Bindschaedler, Harsent, & Metzler, 1996). Eine weitere Studie zeigt, dass die Schädigung des Frontalcortexes zur Verminderung der Heuristik führt. Die Heuristik beschreibt ein Urteilskonzept mit dem eine Person in kurzer Zeit und mit ungenügenden Informationen eine gute Lösung finden kann. Budson et. al (2005) sind der Auffassung, dass die Heuristik in der Lage ist die Entstehung von Falschen Alarmen zu vermindern, weshalb es durch die Schädigung des PFC zur vermehrten Entstehung von Falschen Alarmen kommt (Budson et al., 2005). Außerdem wurde gezeigt, dass es bei Schädigung des PFC, sowohl beim Affen (Botvinick et al., 2001) als auch beim Menschen (Owen et al., 1990), zu Einschränkung des Arbeitsgedächtnisses kommt. Eine Studie von Bechara et al. (1998) zeigt allerdings, dass Personen mit einer Schädigung des linken DLPFC keine Verschlechterung des Arbeitsgedächtnisses aufzeigen, im Gegensatz zu Personen, welche unter einer Schädigung des rechten DLPFC leiden (Bechara, Damasio, Tranel, & Anderson, 1998). Zusätzlich zeigt sich, dass es sowohl bei Schädigung des DLPFC, als auch des VLPFC, zur Verschlechterung der Entscheidungsfindung kommt, was mit Hilfe der „IOWA gambling task“ geprüft wurde (Fellows & Farah, 2005).

1.3 Transkranielle Gleichstromstimulation

Die tDCS ist eine nicht invasive Technik zur Stimulation des zerebralen Cortexes, bei der ein schwacher Gleichstrom intrakraniell von der Anode zur Kathode fließt. Es werden zwei Elektroden an der Kopfoberfläche angebracht, deren Schwämmchen mit leitfähiger Flüssigkeit angefeuchtet werden. Die tDCS wurde in Studien eingeführt um eine therapeutische aber v.a. eine experimentelle Modulation von regionalen Gehirnfunktionen zu ermöglichen.

Die ersten ähnlichen Versuche wurden schon im ersten Jahrhundert nach Christi durchgeführt. Scribonius Largus ein römischer Arzt nutzte beispielsweise die Elektrizität von Zitterrochen zur Behandlung von Kopfschmerzen und Arthritis (Priori, Berardelli, Rona, Accornero, & Manfredi, 1998). Er selbst schrieb das in den Schriften des *Compositiones medicae* nieder. Im 18. Jahrhundert erwachte ein neues wissenschaftliches und klinisches Interesse an der Gleichstromstimulation. Aldini verwendete bimetallische Elektroden, um durch Gleichstrom an toten Tieren und Menschen Bewegungen auszulösen. Später nutzte er die tDCS klinisch zur Stimmungsstabilisierung an melancholischen Patienten (Parent, 2004).

Die Veränderung der Arbeitsleistung durch Gleichstromstimulation, welche Gegenstand unserer Studie ist, ist seit den 1960er Jahren, aufgrund der Ergebnisse von Bindman et al. (1964), Thema neuerer Studien. Sie kamen in Tierversuchen zu der Erkenntnis, dass die tDCS zur Verschiebung neuronaler Potentiale führt. Durch die Hirnstimulationen bei Ratten mit Hilfe von intrakraniellen oder epiduralen Elektroden wurde eine anhaltende Steigerung oder Hemmung der kortikalen Erregbarkeit beobachtet (Bindman, Lippold, & Redfearn, 1964). Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde die präfrontale tDCS in zahlreichen neueren Studien sowohl bei Gesunden, als auch bei neurologisch und psychisch Kranken angewandt. In diesen Studien konnte gezeigt werden, dass die anodale tDCS über dem DLPC zur Verbesserung kognitiver Leistungen, wie beispielsweise den Exekutivfunktionen, den verbalen Fähigkeiten und den Gedächtnisleistungen bei Gesunden (Dockery, Hueckel-Weng, Birbaumer, & Plewnia, 2009; Fiori et al., 2011; Iyer et al., 2005) sowie

Einleitung

bei Parkinson- (Boggio et al., 2006) und Schlaganfallpatienten (Jo et al., 2009) führt. Außerdem wurden vielversprechende Studienergebnisse bei der Stimulation depressiver Patienten hinsichtlich des Therapieerfolgs erzielt (Boggio et al., 2008; Shiozawa et al., 2014).

Als grundlegender Mechanismus wird die Verschiebung des neuronalen Ruhemembranpotentials angenommen (Nitsche & Paulus, 2000). Bei der anodalen Stimulation führt eine Depolarisation zur erhöhten Feuerrate der Neurone. Im Gegensatz führt die kathodale Stimulation über eine Hyperpolarisation zu einer verminderten Entladung (Creutzfeldt, Fromm, & Kapp, 1962). Außerdem zeigte sich, dass die anodale Stimulation nicht nur eine Veränderung der Erregungsschwelle bewirkt, sondern auch, dass die Depolarisationsentstehung vom Neuronensoma hin zum Dendriten verschoben wird (Bikson et al., 2004).

Nitsche und seine Mitarbeiter (2002) haben nachgewiesen, dass es durch die Stimulation zu einem die Stimulation überdauerenden Nacheffekt kommen kann. So kann eine Stimulationsdauer von 13 Minuten zur Verschiebung des Ruhemembranpotentials führen, welche noch 90 Minuten nach der Stimulation und somit nach Beendigung der tDCS nachgewiesen werden kann (Nitsche, Liebetanz, Tergau, & Paulus, 2002). Es wird vermutet, dass der physiologische Zustand bei anodaler Stimulation dem Grundmechanismus der Langzeitpotenzierung und bei kathodaler Stimulation dem der Langzeit-Depression gleicht. Passend dazu konnte gezeigt werden, dass eine langandauernde anodale tDCS zu einer Erhöhung des intrazellulären cAMPs- und Kalziumspiegels führt (Paulus, 2004). Der Nacheffekt hängt einerseits also von der Aktivität der NMDA-Rezeptoren und andererseits von der Stimulationsdauer, der Stimulationsintensität und den Elektrodenpositionen ab (Moliadze, Antal, & Paulus, 2010). Neuere Studien zeigten zusätzlich, dass die Distanz zwischen den Elektroden invers mit der Wirkungszeit des Nacheffektes korreliert (Moliadze et al., 2010). Parameter, welche die Effekte der tDCS am meisten modulieren, sind die Stromdichte, die Gesamtladung, die Ladung pro Phase und die Ladungsdichte (Nitsche et al., 2003).

Einleitung

Wie oben erwähnt gibt es auch viele neue Studien, welche die Effekte der anodalen tDCS auf den PFC und im Speziellen auf den DLPFC untersuchen (Jeon & Han, 2012; Keeser et al., 2011; Oliveira et al., 2013). Neuere Studiendesigns welche den DLPFC als Stimulationsort wählten zeigten eine Verbesserung der Schmerzkontrolle (Fregni et al., 2006) und der kognitiven Leistung in mehreren Teilbereichen, wie z.B. der exekutiven Funktion, der verbalen Fähigkeiten und den Gedächtnisleistungen (Sparing, Dafotakis, Meister, Thirugnanasambandam, & Fink, 2008; Wassermann & Grafman, 2005). Bezogen auf die kognitiven Funktionen zeigten Fregni et al. (2005), dass die anodale tDCS des linken DLPFC einen positiven Effekt auf das Arbeitsgedächtnis hat (Fregni et al., 2005). Weitere Untersuchungen wurden in diesem Bereich durchgeführt, um ein genaueres Verständnis für die Wirkungsweise der tDCS und für die ablaufenden Arbeitsgedächtnisprozesse zu erlangen. Jeon und Han (2012) erkannten, dass die anodale tDCS des linken PFC zur Verbesserung der verbalen Arbeitsgedächtnisprozesse führt, während die tDCS des rechten PFC eher das visuospatiale Gedächtnis fördert (Jeon & Han, 2012). Außerdem nimmt man an, dass die anodale tDCS eine Verschiebung von der automatischen Reaktion hin zur verstärkt exekutiven Funktion vornimmt. Dockery et al. (2009) untersuchten die Wirkung der tDCS auf den DLPFC, während die Probanden die „Tower of London task“ zur Überprüfung ihrer Planungsfähigkeit, bewältigten. Die Studie zeigte, dass sowohl die kathodale als auch die anodale tDCS die Planungsfähigkeit der Probanden verbessert (Dockery et al., 2009). Die anodale tDCS nimmt hier besonders Einfluss auf die verstärkte Verknüpfung der assoziativen Bahnen. Insgesamt zeigt sich, dass die tDCS über dem DLPFC die selektive Aufmerksamkeit (Gladwin, den Uyl, Fregni, & Wiers, 2012) sowie die kognitive Kontrolle von Arbeitsgedächtnisprozesse (Oliveira et al., 2013; Wolkenstein & Plewnia, 2013) verbessert. Weiterhin nimmt man an, dass die tDCS über dem linken DLPFC die kognitive Kontrolle für positiv emotionale Stimuli verbessert (Vanderhasselt et al., 2013).

Einleitung

Bisher gibt es noch keine Studie, welche den Effekt der tDCS auf den DLPFC in Bezug auf das Falschgedächtnis untersucht hat. Allerdings führt die anodale tDCS über dem linken anterioren Temporallappen, während der Abruf- und Enkodierungsphase, zur Erhöhung der neuronalen Aktivität im Temporallappen und so zur Reduzierung des Falschgedächtnisses um 73% (Boggio et al., 2009). Boggio et al. (2009) vermuten, dass es aufgrund der verminderten Inhibition zur reduzierten semantischen und dadurch zu verstärkten wörtlichen Verarbeitung der Gedächtnisinhalte kommt. Dies kann zur Reduzierung des Falschgedächtnisses führen soll. Sie erwähnen in ihrer Studie, dass die tDCS ein größeres kortikales Feld aktiviert und somit auch Gehirnregionen erreicht, welche dem anterioren Temporallappen benachbart sind und mit ihm in assoziativer Verbindung stehen. Deshalb nennen sie als eine der wichtigen Limitationen ihrer Studie die fehlende Stimulation weiterer Gehirnareale und deren Untersuchung auf das Falschgedächtnis (Boggio et al., 2009).

Die tDCS ist insgesamt, bei Beachtung der Kontraindikationen, ein nebenwirkungsarmes und ungefährliches Verfahren, welches in mehreren Sicherheitsstudien evaluiert wurde (Iyer et al., 2005). Es wird von leichten Nebenwirkungen, wie schwachem Juckreiz, Kopfschmerzen und Lichtblitzen berichtet. Jedoch war nach der tDCS die neuronenspezifische Enolase als spezifischer Marker für die neuronaler Destruktion nicht erhöht und auch im EEG konnten keine pathologischen Veränderungen beobachtet werden (Nitsche et al., 2003). Somit gibt es keinen Hinweis auf Gewebeschädigungen oder andere schwerwiegende Nebenwirkungen nach der tDCS (Nitsche et al., 2003). Die verwendeten Stimulationsladungen reichen laut Nitsche und Paulus (2000) nicht zur Induktion einen epileptischen Anfalles aus. Durch die Verwendung salzwassergetränkter Elektrodenschwämmchen wird die Gefahr der Hautverbrennung, durch Reduktion des Hautwiderstandes, deutlich reduziert (Nitsche & Paulus, 2000). Bei einer Stimulation mit 1mA über 15 Minuten, wie es in der vorliegenden Studie geplant ist, besteht somit keine Gefahr für die Probanden.

Ein weiterer Vorteil dieses Studiendesign ist, dass aufgrund der somatosensorischen Effekte in beiden Probandengruppen, nicht zwischen der Scheinstimulations- (Sham) und der Stimulationsbedingung (Verum) unterschieden werden kann. Somit ist das Verfahren für Doppelblindstudien geeignet (Gandiga, Hummel, & Cohen, 2006).

1.4 Innovative Ansätze unserer Studie

Schwerpunkt unserer Studie ist die Auswirkung der tDCS des linken DLPFC auf das DF-Paradigma. Wie oben erwähnt gibt es bisher kaum Studien, welche sich mit diesem Thema beschäftigen. Deshalb beschreibt diese Studie einen innovativen Ansatz zur Untersuchung des DF und dient dem Verständnis der Gedächtniskontrolle.

Erweiternd wird zur Untersuchung des DF die neue Instruktion „Irrelevant (I)“ eingeführt. Das bedeutet, dass zusätzlich zu den beiden klassischen aktiven Verarbeitungshinweisen R und F eine dritte neutrale Instruktion I mit dem Begriffsinhalt „der vorangegangene Reiz hat keine Bedeutung“ hinzukommt. Nach bisherigen Erkenntnissen würde man annehmen, dass die Probanden sich an die TBF-Reize gleich schlecht oder schlechter erinnern, als an die TBI-Reize ohne direkten Verarbeitungshinweis (Abbildung 1, Möglichkeit 1&2). Entgegen dieser Erwartung zeigten wenige Studien, welche zu diesem Thema durchgeführt worden sind, nicht die vermuteten Ergebnisse (Abbildung 1, Möglichkeit 1&2).

Es wurde beobachtet, dass sich paradoxerweise an TBF-Reize besser erinnert werden kann, als an TBI-Reize (Zwissler, Schindler, Fischer, Plewnia, & Kissler, submitted).

In den meisten bisher durchgeführten DF-Studien wurden die Falschen Alarme nicht betrachtet. Allerdings können diese, wenn sie komplett aus der Auswertung genommen werden, durch Ja-Sagetendenzen, den DF-Effekt aufgrund zu hoher Hit-Werte überschatten. Deshalb haben wir als zusätzliche Untersuchung des DF in unserer Studie die Auswertung der Falschen Alarme eingeführt.

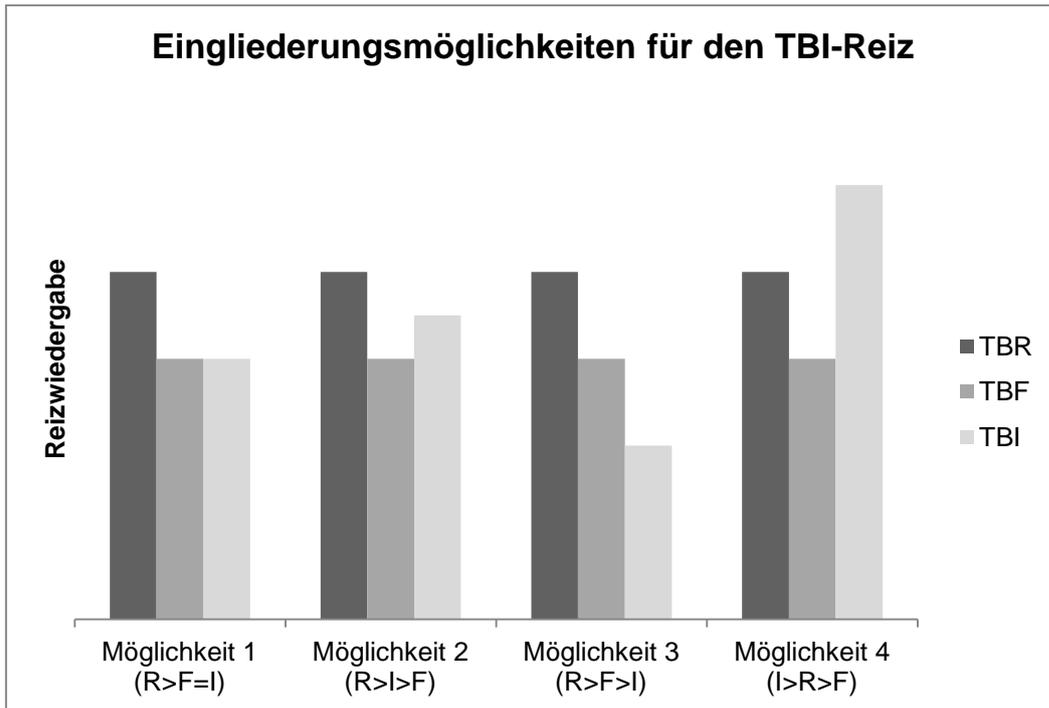


Abbildung 3 Eingliederungsmöglichkeiten für den TBI-Reiz. Die Abbildung zeigt Möglichkeiten wie sich der neue TBI-Reiz in das DF- Paradigma einfügen könnte. Möglichkeiten 1 und 2 zeigen, dass die TBF-Reize gleich schlecht (1) oder schlechter (2) erinnert werden können, als die TBI-Reize. 3. zeigt die Möglichkeit, dass die TBI-Reize am schlechtesten erinnert werden können. 4. zeigt die Möglichkeit, dass sich die Probanden die TBI-Reize am besten merken können. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen TBR=to be remembered; TBF=to be forgotten; TBI=to be irrelevant; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant

Wie oben erwähnt, besteht die Aufgabe in der Wiedererkennungsphase darin, alle in der Lernphase gesehenen Bilder wiederzuerkennen. Hierbei können die Probanden Hits (Treffer=Richtig als neuen oder alten Reiz wiedererkannt) oder Falsche Alarme erzeugen. Falsche Alarme sind falsch positive Reize auf Bilder, welche in der Lernphase nicht präsentiert worden sind. Diese werden in der Wiedererkennungsphase von den Probanden fälschlicherweise als bekannte Bilder identifiziert. Zur Auswertung der Aussagegenauigkeit dient hierzu v.a. der Diskriminationsindex (PR), welcher die Differenz aus den Hits und den Falschen Alarmen darstellt (Abbildung 4). In den wenigen, neueren Studien zeigte sich für die Falschen Alarme ein verminderter DF-Effekt (Zwissler, 2011).

Diskriminationsindex=Hit - Falscher Alarm

Abbildung 4 Berechnung des Diskriminationsindexes

1.5 Zielsetzungen unserer Studie

Im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchen wir die Auswirkungen der tDCS auf das DF. Dieser innovative Ansatz soll ein erweitertes Verständnis der Physiologie des DF und der Gedächtniskontrolle bringen. Für die Wissenschaft ist dieses Verständnis von Bedeutung, genauso wie erweiterte Erkenntnisse über die neurophysiologischen Abläufe, welche während der kognitiven Kontrolle aktiv sind. Eine weitere Frage in unserer Studie ist, ob die tDCS in Zukunft auch als Therapieoption bei Krankheiten eingesetzt werden kann, bei denen es zu Störungen der kognitiven Kontrolle kommt, wie beispielsweise bei der PTBS, der Schizophrenie und der Depression.

Ein weiteres Ziel ist es Ursachen zu finden, welche zur Beeinflussung und Verzerrung von Gedächtnisinhalten führen. Somit hoffen wir ein genaueres Verständnis für die ablaufenden psychologischen und neurophysiologischen Prozesse des Falschgedächtnisses zu erlangen.

Eine weitere Fragestellung unserer Studie betrifft das DF-Paradigma. Das DF ermöglicht insgesamt die Untersuchung von bewusstem Vergessen, selektivem Abruf und zielgerichtetem Erinnern von Gedächtnisinhalten. Die Instruktion I wird eingegliedert um ein genaueres Verständnis für die Entstehung des DF und v.a. für die Verarbeitung der unterschiedlichen Instruktionen zu erlangen.

Aus den Forschungsergebnissen ähnlicher Studien ergeben sich folgende Hypothesen für unsere Studie:

- Hypothese I: formuliert das Paradigma des Gerichteten Vergessens. Wir gehen davon aus, dass sich auch in unserer Studie das DF aufzeigen lässt. Das DF beschreibt im Allgemeinen, dass die zu merkenden Reize (TBR) besser abgerufen werden können, als die zu vergessenden Reize (TBF), d.h. $R > F$ (Abbildung 5).
- Hypothese II: Sie formuliert die Eingliederung der neuen Instruktion I in das DF-Paradigma. Wir gehen davon aus, dass sich paradoxerweise an TBF-Reize besser erinnert werden kann, als an TBI-Reize. Das

erweiterte DF-Paradigma würde sich somit als $R > F > I$ darstellen (Abbildung 4).

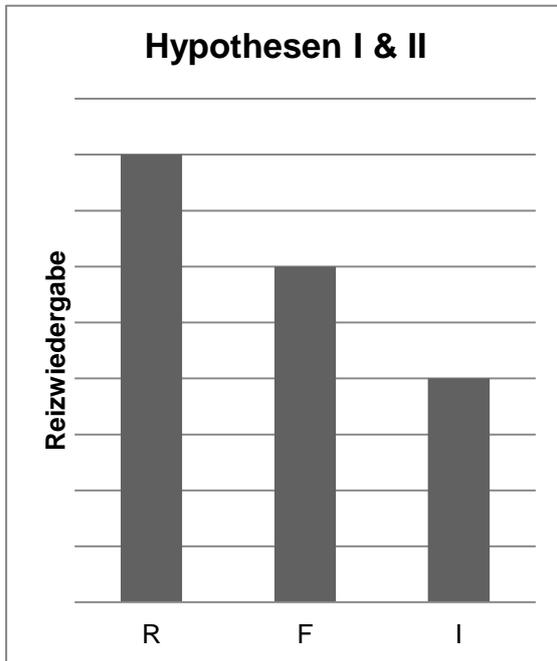


Abbildung 5 Diagramm zur Abbildung der I. & II. Doktorarbeitshypothese. Es zeigt die Hypothese I und somit das DF-Paradigma ($R > F$) sowie die Hypothese II zur Eingliederung der neuen Instruktion I ($F > I$). Worterklärung: R= Remember; F= Forget; I=Irrelevant; DF= Gerichtetes Vergessen

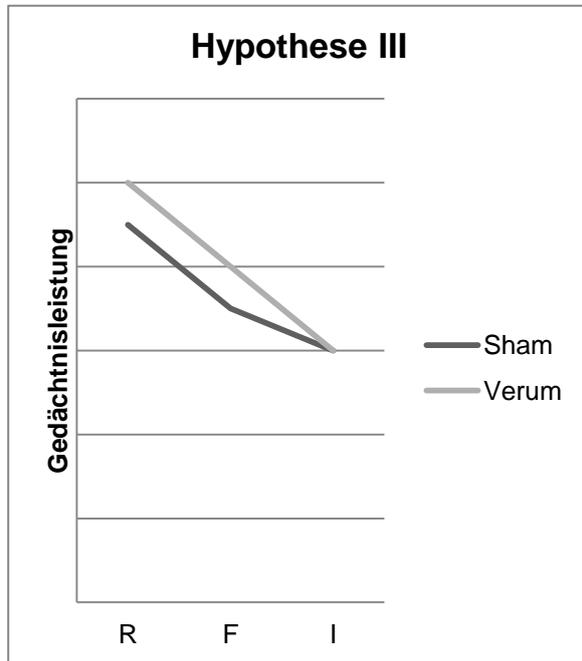


Abbildung 6 Diagramm zur Abbildung der III. Doktorarbeitshypothese. Sie zeigt die Vermutung, dass es unter anodaler tDCS, im Vergleich zur Scheinstimulation, zu einer Verbesserung des DF und somit der kognitiven Kontrolle kommt. Worterklärung: R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant; Sham=Scheinstimulation; Verum=Anodale Stimulation; DF=Gerichtetes Vergessen; tDCS=Transkranielle Gleichstromstimulation

- Hypothese III: Sie formuliert den Effekt der anodalen tDCS auf das DF. Wir gehen davon aus, dass die anodale Stimulation des PFC eine Verbesserung des DF bewirkt. Das würde sich in einer Verbesserung der kognitiven Kontrolle und besseren Ergebnissen im Wiedererkennungstest zeigen (Abbildung 6). Weiterhin nehmen wir an, dass v.a. die TBR- und TBF-Reize, aufgrund ihrer aktiven Verarbeitungswege, durch die anodale tDCS beeinflusst werden. Wohingegen die TBI-Reize höchstwahrscheinlich keinem Einfluss durch die tDCS unterliegen.

2 Material und Methoden

Diese Studie wurde von der Ethik-Kommission der Eberhard-Karls-Universität geprüft und mit einem positiven Votum beschieden. Sie steht im Einklang mit den Grundsätzen der Deklaration von Helsinki und ihren Novellierungen. Die Teilnehmer wurden vor Beginn der Untersuchung ausführlich schriftlich und mündlich über die Studie informiert und mussten daraufhin eine schriftliche Einverständniserklärung unterzeichnen.

Es handelt sich um eine randomisierte, placebokontrollierte Doppelblindstudie, mit zwei unterschiedlichen Stimulationsbedingungen: anodale Stimulation (Verum) versus Scheinstimulation (Sham). Insgesamt wird der Effekt der anodalen tDCS auf das DF-Paradigma untersucht.

2.1 Stichprobe

Für die vorliegende Studie rekrutierten wir insgesamt 48 Probanden. Diese wurden vor allem über persönliche Ansprache oder den studentischen Email-Verteiler erreicht. Beim Großteil der Probanden handelte es sich um Studenten der Human- und Zahnmedizin, der Betriebswirtschaftslehre und des Lehramts. Außerdem waren in der Probandengruppe wenige Auszubildende und eine Diplomandin vertreten.

Vom Experiment ausgeschlossen waren Linkshänder, psychisch Kranke, Epileptiker, Drogenabhängige, Patienten mit metallischen Gegenständen im Kopfbereich und Probanden über 35 und unter 20 Jahren. Zusätzlich wurden die Probanden zur dauerhaften Einnahme von Medikamenten befragt. 95% der weiblichen Teilnehmerinnen gaben an die Antibabypille einzunehmen, während zwei der Probanden Asthmamedikation und Schilddrüsentabletten verschrieben hatten. Zur Erfassung der psychischen und neurologischen Gesundheit führten wir Fragebögen, wie den BDI und den STAI durch. Außerdem wurden die Probanden dem Edinburgh-Händigkeitsfragebogen unterzogen (Oldfield, 1971). Aufgrund zu hoher Werte im BDI, mit der Diagnose der subsyndromalen Depression, kam es zum Studienausschluss zweier Probanden. Dadurch

Material und Methoden

reduzierte sich die Anzahl von ursprünglich 48 Probanden auf 46. Zusätzlich wurden aufgrund von Verständnisschwierigkeiten im Wiedererkennungstest vier weitere Probanden aus der Wertung genommen (Abbildung 7). Es nahmen somit insgesamt 18 Männer und 24 Frauen an der Studie teil (Tabelle 2).

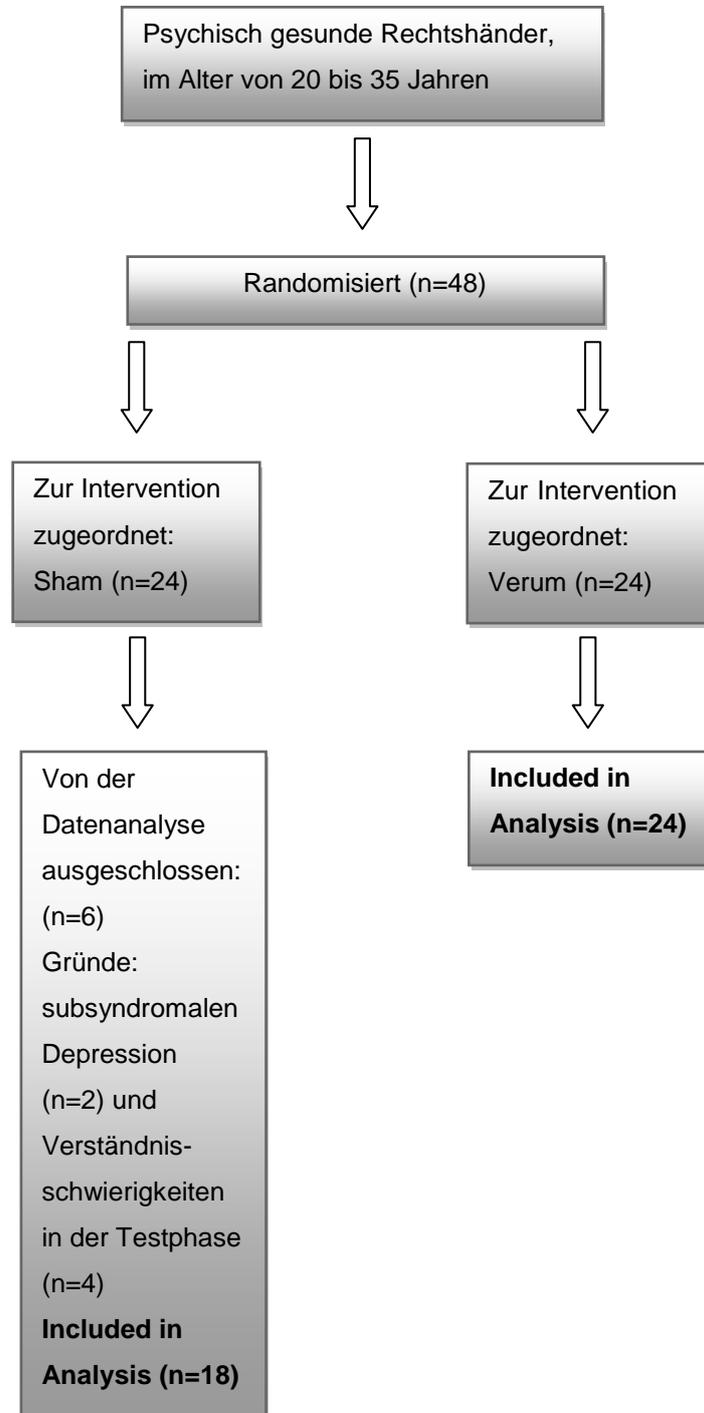


Abbildung 7 CONSORT-Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Teilnehmer im Verlauf der randomisierten Studie. Worterklärung: Sham=Scheinstimulation; Verum=Anodale Stimulation; n=Anzahl

Die Probanden wurden gleichmäßig in eine Scheinstimulations- und eine Stimulationsgruppe randomisiert. Aufgrund des Ausschlusses von sechs Scheinstimulationsprobanden stellte sich die Einteilung so dar, dass 24 Probanden der anodalen Stimulations- und 18 Probanden der Scheinstimulationsgruppe angehörten. Der Altersdurchschnitt der Scheinstimulationsgruppe betrug 23,61 Jahre, während die Stimulationsgruppe durchschnittlich 25,33 Jahre alt war (Abbildung 8).

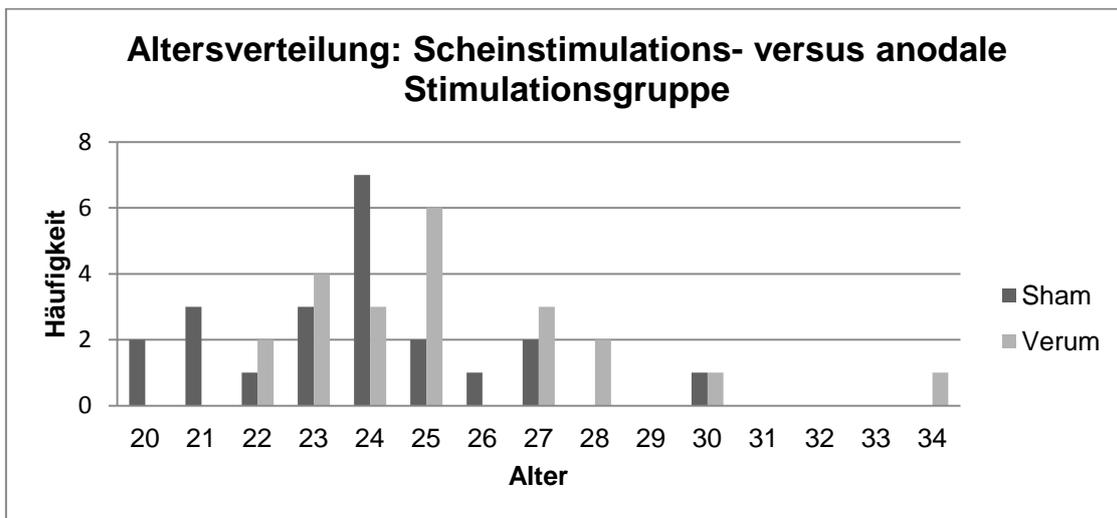


Abbildung 8 Vergleich der Altersverteilungsdaten zwischen der Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe (Anzahl der Einzelwerte). Worterklärung: Sham=Scheinstimulation; Verum=Anodale Stimulation

Um eine Gleichheit der psychischen Gesundheit zwischen der Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe zu gewährleisten, wurden die Fragebogendaten, anhand eines t-Testes für unabhängige Gruppen ausgewertet. Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festzustellen. Betrachtet man die BDI-Werte unserer Studie im Vergleich mit anderen nicht-klinischen Studien (Arnault, Sakamoto, & Moriwaki, 2006) ergibt der BDI in unserer Studie niedrigere Werte. Wohingegen die Werte des STAI's (Iwata & Higuchi, 2000) vergleichbar mit anderen nicht-klinischen Studien sind (Tabelle 2). Es besteht auch bei der Auswertung des Händigkeitsfragebogens kein signifikanter Unterschied zwischen Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe. Es lässt sich erkennen, dass die anodale Stimulationsgruppe zu 80,5% Tätigkeiten mit der rechten Hand durchführen würde, während es in der Scheinstimulationsgruppe nur 76% der

Material und Methoden

Tätigkeiten wären (Tabelle 2). Wir legten in unserer Studie einen Wert von 60% für die Rechtshändigkeit im Händigkeitsfragebogen fest.

Tabelle 2 Fragebogenauswertung und Charakteristika der Patienten in der Stimulations- und Scheinstimulationsgruppe. Auswertung der Fragebögen anhand eines t-Testes (Angaben in Mittelwerten mit Standardabweichung und Anzahl der Einzelwerte). Worterklärung: STAI=State-Trait-Angstinventar; BDI=Beck-Depressions-Inventory; D2-Gz=Gesamtzahl der bearbeiteten Zeichen; D2-F1=Auslassungsfehler; D2-F2=Verwechslungsfehler; D2-F%=relative Prozentfehler; D2-KI=Konzentrationsleistung; D2-GZ-F=Gesamtleistung; Sham=Scheinstimulation; Verum=Anodale Stimulation

Tabelle	Mittelwert insgesamt	Sham: Mittelwert	Verum: Mittelwert	Sham Standardfehler	Verum Standardfehler
Anzahl		18	24		
Alter		23,61	25,34	0,61	0,53
Geschlecht w/m		10/8	14/10		
Händigkeit	82,47%	80,54%	84,84%	3,64	3,15
STAI X1	33,93	32,11	35,954	1,40	1,21
STAI X2	34,78	35,54	34,95	1,76	1,52
BDI 1	1,26	1,22	1,29	0,37	0,32
BDI 2	2,06	2,16	2,00	0,50	0,43
D2 GZ	567,91	565,43	567,41	14,70	12,73
D2 F1	72,2	69,52	67,82	9,25	8,01
D2 F2	0,73	0,78	0,79	0,27	0,24
D2 F%	12,84	13	12,68	1,94	1,68
D2 KI	224,24	220	224,36	9,53	8,24
D2 GZ-F	498,98	492,13	499	22,79	19,68

2.2 Versuchsanordnung

Jeder Proband wurde einzeln von einem Untersuchungsleiter durch das Experiment geführt. Die Probanden saßen in einem kleinen Labor an einem Schreibtisch. Vor ihnen stand, ca. 50cm entfernt, ein Computer (Hp Compaq dc 7600), an dem sie mit der Software Neurobehavioral Systems Inc. (Albany, NY) ihre Studienaufgaben erledigten. Der Versuchsleiter saß ständig links hinter den Probanden, um sie durch die Studie zu führen und ihnen ihre Fragen zu beantworten. Um keine Unterbrechungen während der Studie zu erzeugen,

wurden die Elektroden des Gleichstromgeräts sofort nach der Aufklärung angelegt und erst am Ende vor der Blutabnahme wieder abgenommen.

2.3 Versuchsaufbau

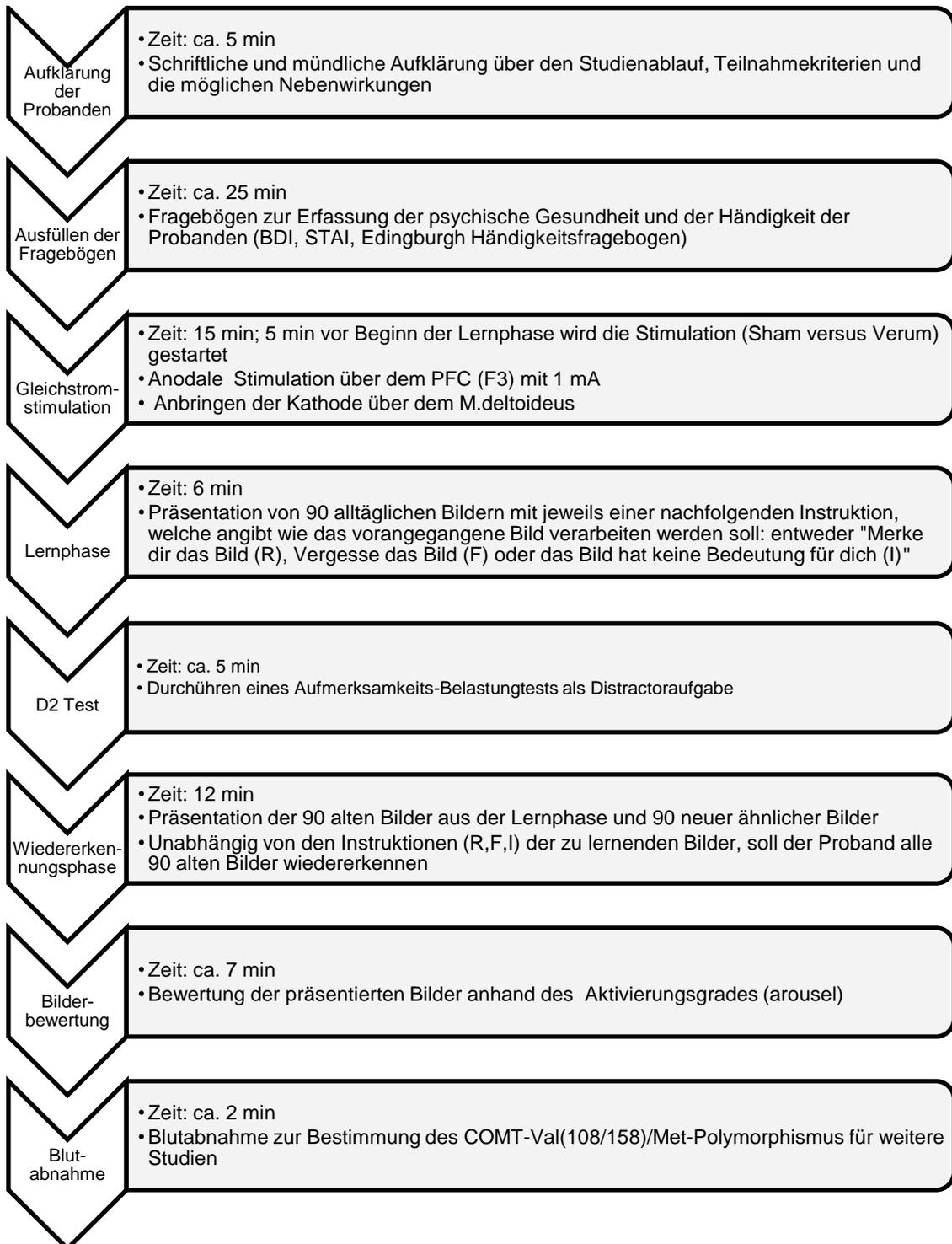


Abbildung 9 Aufbau und zeitlicher Studienablauf. Worterklärung: Sham=Scheinstimulation, Verum=Anodale Stimulation. PFC=Präfrontaler Cortex; COMT=Catechol-O-Methyltransferase

2.3.1 Fragebögen

Wie oben schon einmal erwähnt erfassen die Fragebögen die Händigkeit und die psychische Gesundheit der Probanden und damit die wichtigsten Kriterien für die Studienteilnahme.

2.3.1.1 Edinburgh-Händigkeitsfragebogen

Um die Händigkeit, eines der wichtigsten Teilnahmekriterien, zu bestimmen wurde der Edinburgh Händigkeitsfragebogen nach Oldfield, R.C. (1971) durchgeführt (Oldfield, 1971). Er soll eine einheitliche Händigkeit der Probanden gewährleisten, um die Lateralisierungsphänomene im Gehirn und somit unterschiedliche Stimulationseffekte so klein wie möglich zu halten.

Die Probanden werden nach bestimmten Tätigkeiten, wie z.B. Zähneputzen, Fußball spielen und Streichholz anzünden, gefragt und müssen daraufhin angeben mit welcher Hand/Fuß sie diese Tätigkeit durchführen würden. Die Werte des Händigkeitskoeffizienten werden in Prozent angegeben. Wobei 100% die absolute Rechtslateralisierung widerspiegelt.

2.3.1.2 State-Trait-Angstinventar (STAI-G)

Das State-Trait-Angstinventar hilft Angst als vorübergehenden, emotionalen Zustand (State) von Angst als Charaktereigenschaft (Trait) zu unterscheiden (Spielberger, Gorsuch, & Lushene, 1970).

Die State-Angstskala des STAI besteht aus 20 Feststellungen, mit welchen der Proband beurteilen soll, wie er sich in diesem Moment fühlt. 10 Feststellungen beschreiben die momentane Angst ("Ich bin aufgeregt"; "Ich bin beunruhigt"), während die 10 anderen in Richtung Angstfreiheit tendieren ("Ich bin entspannt"; "Ich fühle mich ausgeruht"). In der Trait-Angstskala sind ebenfalls 20 Feststellungen beschrieben, welche ausdrücken sollen, wie sich der Proband im Allgemeinen fühlt. 13 Feststellungen beurteilen allgemeine

Angstzustände ("Ich glaube, dass mir meine Schwierigkeiten über den Kopf wachsen"; "Ich mache mir zu viele Gedanken über unwichtige Dinge"), während sieben eine grundlegende Angstfreiheit beschreiben ("Ich fühle mich geborgen"; "Ich bin ausgeglichen"). Die Beantwortung erfolgt auf einer vierstufigen Skala.

2.3.1.3 Beck-Depressions-Inventar (BDI-II)

Das Beck-Depressions-Inventar (BDI) von A.T. Beck, welches in der deutschen Bearbeitung von M. Hautzinger und Kollegen erstellt worden ist, ist ein Selbstbeurteilungsinstrument zur Erfassung des Schweregrades einer depressiven Symptomatik (Hautzinger, Keller, & Kühner, 2006). Durch die Überarbeitung entstand später der BDI II. Insgesamt fragen 21 Items die häufigsten depressiven Symptome wie z.B. traurige Stimmung, Pessimismus, Versagen, Unzufriedenheit, Schuldgefühle, Reizbarkeit und sozialer Rückzug ab. Die Items können mit einer vierstufigen Likert-Skala, in der Ausprägung von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 3 (trifft völlig zu) bewertet werden. Danach werden die Werte der Items summiert. Die Summenwerte des BDI können zwischen 0 und 63 Punkten liegen. Werte unter 13 Punkten gelten im BDI-II als keine bzw. minimale depressive Symptome.

2.3.2 Transkranielle Gleichstromstimulation

Das Gleichstromgerät, der Marke NeuroConn (DC-Stimulator Plus Modell 0021, Ilmenau, Germany) stimuliert die Probanden für insgesamt 900 Sekunden. Während die ersten fünf Minuten der Stimulation in kompletter Ruhe stattfinden, haben die Probanden in den weiteren 10 Minuten der Stimulationszeit die Lernphase und einen Teil des D2-Testes zu bewältigen. In unserer Studie sind zwei Stimulationsarten zu unterscheiden, die Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe. Da die Studie doppel-verblindet ist werden Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe über einen Code verschlüsselt in das Gleichstromgerät eingegeben. Um auch bei den Probanden die Doppelverblindung aufrecht erhalten zu können, stimuliert das Gerät anfangs

für 1/40 der eingestellten Zeit den Scheinstimulationsprobanden, um den Eindruck einer Stimulation zu erzeugen. Im Gegensatz dazu bleibt die anodale Stimulationsbedingung, mit Ausnahme einer fade in und fade out Zeit von jeweils 5 Sekunden, bei einer Stromstärke von 1 mA und einer Dichte von 28.57 mA/cm² konstant.

Um die Leitfähigkeit der Elektroden zu erhöhen werden die mit Kochsalzlösung getränkten Schwämmchen (5x7cm²) direkt auf der Haut aufgebracht. Die Anode bringt man mit Hilfe eines modularen EEG-Ableithaubensystems über F3 an. Das Ableithaubensystem dient einer einheitlichen Positionierung der anodalen Stimulationselektrode und vermisst den Kopf anhand des 10-20 Systems. Die Kathode hingegen ist durch einen Gurt extrakraniell am rechten kontralateralen M. deltoidus befestigt, v.a. um eine Stimulation in anderen Hirnarealen zu vermeiden und die Effekte direkt auf die Stimulation im DLPFC zurückführen zu können (Wolkenstein & Plewnia, 2013).

2.3.3 Lernphase

In der experimentellen Phase unterscheidet man die Lern- von der Wiedererkennungsphase. Insgesamt werden 90 neutrale Bilderpaare, d.h. insgesamt 180 Bilder eingesetzt. Die Bilder wurden in vorherigen Studien getestet und zeigen alltägliche Situationen, Menschen, Tiere, Landschaften oder Gegenstände, welche kaum Erregung und Aktivierung hervorrufen (Zwissler et al., 2012)

In der Lernphase werden den Probanden jeweils 90 Bilder präsentiert. Jedes dieser Bilder wird für 2000 Millisekunden auf dem Computerbildschirm eingespielt. Nach jedem dieser Bilder erscheint für zusätzliche 2000 Millisekunden eine Instruktion, die darauf hinweist, wie das vorangegangene Bild zu verarbeiten ist, entweder „merke dir das Bild (R)“, „vergesse das Bild (F)“ oder „das Bild hat keine Bedeutung für dich (I)“. Die Instruktionen sind als farbige Symbole abgebildet und stellen ein blaues Viereck, ein gelbes Dreieck und einen lila Kreis dar (Abbildung 10). Da die Symbole erst hinter dem präsentierten Bild erscheinen sind die Probanden dazu gezwungen jedes Bild

erst einmal in das Arbeitsgedächtnis aufzunehmen und dort zu halten bis die Instruktion erscheint. Bevor das nächste Bild präsentiert wird erscheint für eine Sekunde ein Fixationskreuz.

Ein Bild jedes Paares wird durch das Zufallsprinzip entweder dem Bilderset A oder B zugeordnet. Weiterhin wird ein Bilderset randomisiert der Lernphase und das andere der Wiedererkennungsphase und zusätzlich einem bestimmten Probanden zugeordnet. Die Instruktionen R, F und I sind randomisiert den Symbolen und diese wiederum randomisiert den Bildern zugeordnet.

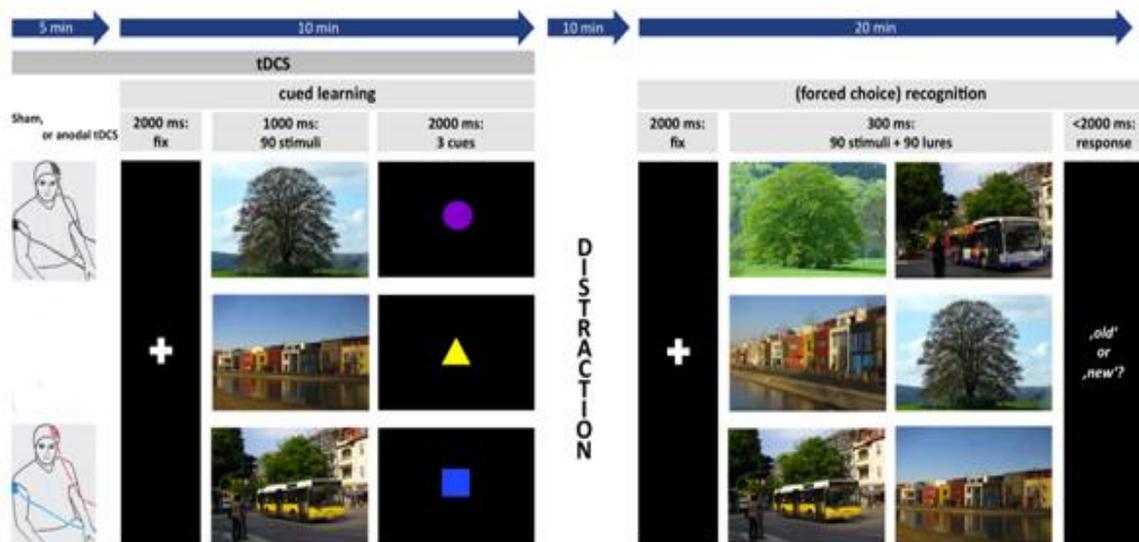


Abbildung 10 Reihenfolge und zeitliche Einordnung des Versuchsablaufs. Die Abbildung zeigt beispielhaft den Studienablauf: Anbringen der Elektroden, Präsentation des Fixationskreuzes, Präsentation der Bilder und der Instruktionen (R,F,I) in Form von Symbolen, Durchführung der Distraktoraufgabe, erneute Präsentation des Fixationskreuzes sowie der alten und neuen Bilder mit anschließender Erkennung der alten Bilder, unabhängig von der vorherigen Instruktion (Zwissler et al., 2014). Worterklärung: R=Remember; F= Forget; I=Irrelevant; tDCS=Transkranielle Gleichstromstimulation

2.3.4 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (D2)

Der D2 ist ein Aufmerksamkeits- und Belastungs-Test, welcher von Brickenkamp entwickelt wurde (Brickenkamp, 1994). Er wird in unserer Studie als Distraktoraufgabe verwendet und soll die Probanden vom gedanklichen Wiederholen der erlernten Bilder abhalten.

Der D2-Test erfasst die Genauigkeit und das Tempo des Arbeitsverhaltens bei der Unterscheidung ähnlicher visueller Reize und somit die Detaildiskrimination. Er ermöglicht damit die Beurteilung individueller Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistungen. Der Test besteht aus den Buchstaben d und p,

welche in 14 Reihen zu je 47 Zeichen angeordnet sind. Die d's und p's sind oben und/oder unten mit 1 bis 4 Strichen markiert. Das Ziel der Probanden ist es, innerhalb von 20 Sekunden, alle d's pro Zeile, welche insgesamt mit zwei Strichen markiert sind, durchzustreichen. Dabei sollten so wenige Verwechslungsfehler (F2) und Auslassungsfehler (F1), wie möglich, produziert werden. Am Ende wird zur Beurteilung des Arbeitstempos die Gesamtzahl (=GZ) aller bearbeiteten Buchstaben errechnet, sowie die Konzentrationsleistung aus der Differenz der richtig durchgestrichenen d's und der Verwechslungsfehler (F2).

2.3.5 Wiedererkennungsphase

In der Wiedererkennungsphase werden den Probanden beide Bildersets, d.h. 90 alte und 90 ähnliche, aber neue Bilder, insgesamt also 180 Bilder, präsentiert. Die Aufgabe besteht darin alle alten Bilder, welche schon in der Lernphase präsentiert worden sind, unabhängig von dem dazugehörigen Verarbeitungshinweisen R, F oder I, wiederzuerkennen (Abbildung 11). Jedes Bild wird auf dem Computerbildschirm (HP Compaq dc 7600) für 300 Millisekunden angezeigt. Die Probanden müssen innerhalb dieses Zeitraumes entscheiden, ob es sich um ein neues oder ein altes Bild handelt und dieses dann per Mausklick angeben. Die Probanden werden dazu angehalten so schnell wie möglich zu reagieren, es wird ihnen jedoch kein Zeitlimit gesetzt. Die Zuteilung ob die linke oder die rechte Maustaste für das Erkennen eines neuen oder alten Bildes verwendet werden soll, findet für jeden Probanden randomisiert statt. Vor jedem neuen Bild erscheint für 700 Millisekunden ein Fixationskreuz.

Die Probanden erhalten am Ende eine Aufwandsentschädigung von 12 Euro und einen zusätzlichen Bonus von 10 Cent für jede richtige Antwort. Dadurch soll die Erinnerungsgenauigkeit gesteigert bzw. die Ja-Sage-Tendenz unterbunden werden.

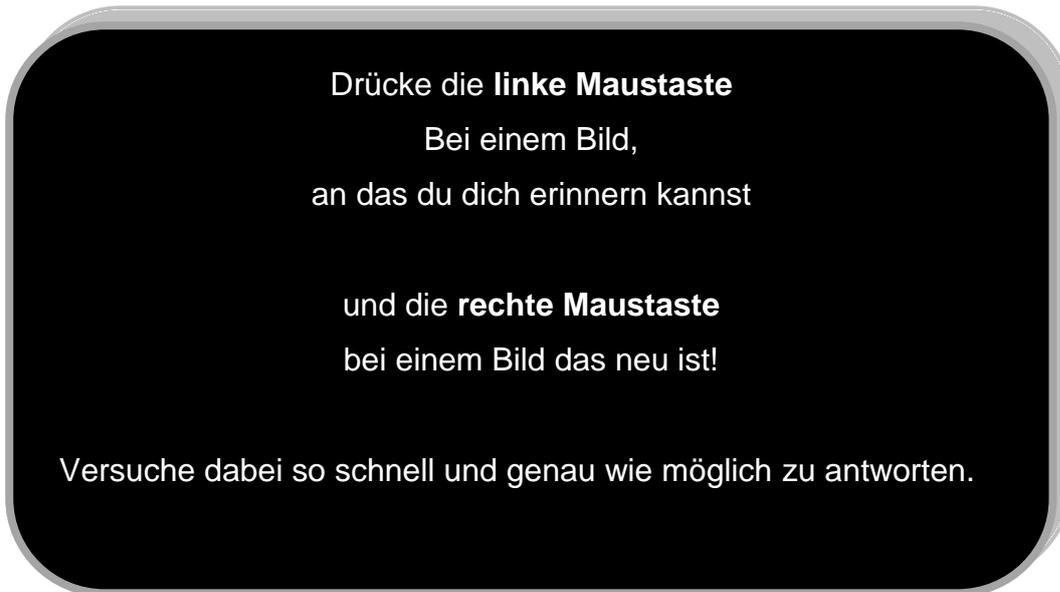


Abbildung 11 Arbeitsanweisung in der Wiedererkennungsphase

2.3.6 Bewertung der Bilder anhand ihres Aktivierungscharakters

Um gewährleisten zu können, dass es sich bei den verwendeten Bildern um affektiv weitgehend schwach erregend Bilder handelt, sollten die Probanden diese auf einer Scala von 1 (schwach erregend) bis 9 (total erregend), nach ihrem jeweiligen Arousalcharakter bewerten. Arousal beschreibt in der Psychologie und Physiologie die allgemeine Aktivierung des zentralen Nervensystems durch sensorische Impulse. Durch die Ausschüttung von Adrenalin, Kortison und Dopamin, aber auch anderer Hormone, kommt es zur Erregung der Formatio reticularis und dadurch zur Aktivierung des gesamten Organismus sowie des Cortex cerebri. Dies führt zur Steigerung der Aufmerksamkeit, der Informationsverarbeitung und des Bewusstseins. Studien zeigten, dass Arousal und Stress, durch die Ausschüttung von Kortisol und Adrenalin, zur Verbesserung der Gedächtnisleitung führen (Echterhoff & Wolf, 2012). Das zeigt sich auch daran, dass neutrale und wenig erregende Bilder schlechter erinnert werden können, als hoch-erregende Bilder (Cordon, Melinder, Goodman, & Edelstein, 2012). Damit ähnliche Voraussetzungen für die Verarbeitung der Bilder vorliegen ist es wichtig, dass die Bilder anhand ihrer Erregbarkeit ähnlich bewertet und empfunden werden.

Wie oben schon einmal erwähnt liegen in unserer Studie die zwei Bildersets A und B vor. Anhand eines t-Testes für unabhängige Gruppen kann gezeigt werden, dass sich die beiden Bildersets nicht signifikant ($t(178) = -.04$, $p = .97$) in ihrem Arousalcharakter unterscheiden. Weiterhin empfinden sowohl die Scheinstimulations- ($M = 4.93$; $SD = .43$), als auch die anodale Stimulationsgruppe ($M = 5.01$; $SD = .63$), die Bilder im Mittel als nicht erregend.

2.4 Erfassung der Verhaltensdaten und statistische Analyse

2.4.1 Datenerfassung

Alle Daten unserer Studie werden mithilfe der Presentation Software (Neurobehavioral Systems) erfasst. Zum einen werden die Ergebnisse jedes einzelnen Probanden gemessen, d.h. alle richtigen Antworten (Hits), alle Auslassungen (Missings), alle Falschen Alarme (False Alarms) und alle korrekt Zurückgewiesenen (Correct Rejections). Zum anderen wird zusätzlich zur Überprüfung des DF sowohl die Anzahl der Hits als auch der Falschen Alarme für jedes TBR-, TBF- und TBI-Bild erhoben. Um den Effekt der tDCS auf das DF zu überprüfen werden die TBR-, TBF- und TBI-Bilder jeweils getrennt für die Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe ausgelesen. Weiterhin wird für eine möglichst verzerrungsfreie Analyse der Diskriminationsindex (PR) aus der Differenz der Hits und der Falschen Alarme berechnet. Zusätzlich misst man die Reaktionszeit für jedes Bild, d.h. die Zeit von der Präsentation des Bildes bis zur Antwort per Mausklick. Im D2 wird die Konzentrations- und Belastungsleistung gemessen, deren Daten in der statistischen Auswertung auf eine Korrelation mit der tDCS untersucht werden sollen.

2.4.2 Datenauswertung und statistische Analyse

Zur Datenauswertung wird in unserer Studie eine Varianzanalyse (engl. Analysis of Variances; ANOVA) mit Messwiederholung in einem 2x3 Design angewandt. Während die Stimulationsarten Verum und Sham als Between-

Material und Methoden

Subject-Factor und die Instruktionen (R, F, I) als Within-Subject-Factor in die ANOVA mit einbezogen werden. Eine Voraussetzung für die Durchführung einer ANOVA ist die Normalverteilung der Daten. Das wird durch den 1-Sample Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Zusätzlich muss die Sphärizität kontrolliert werden, wozu üblicherweise der Mauchly-Test genutzt wird. Außerdem wendet man zur Testung der Signifikanz den Bonferroni Post-Hoc-Test an. Für alle statistischen Tests wird ein α -Niveau von < 0.05 festgelegt.

Wie oben erwähnt, werden im D2-Test die Konzentrations- und Belastungsleistung gemessen. Diese Daten sollen durch den Zweistichprobent-Test für unabhängige Gruppen auf eine Korrelation mit der tDCS untersucht werden. Auch für die t-Tests besteht die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten.

Für die statistischen Analysen werden die Statistiksoftwares SPSS Statistics, Version 17.0 und STATISTICA 6.1. verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Gedächtnisgenauigkeit

In diesem Kapitel wird das DF ($R > F$) in der Gesamtgruppe sowie für die Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe getrennt überprüft und somit der Effekt der tDCS auf das DF analysiert. Weiterhin wird die Einbeziehung einer zusätzlichen Instruktion I (Irrelevant) in das DF-Paradigma untersucht. Das erweiterte DF mit der Instruktion I und der Einfluss der tDCS wird dann in der Gesamtgruppe sowie getrennt für die Hits und die Falschen Alarme und den Diskriminationsindex analysiert. Außerdem wird der Einfluss der tDCS auf die Reaktionszeiten und den D2 überprüft.

3.1.1 Untersuchung der Gedächtnisgenauigkeit (PR)

Für eine möglichst verzerrungsfreie Analyse des DF ist die gleichzeitige Berücksichtigung der Anzahl richtiger (Hits) und falscher Antworten (False Alarms) erforderlich. Hierbei folgt man dem von Snodgrass und Corwin (1988) beschriebenen two-high-threshold model (Snodgrass & Corwin, 1988). Der Diskriminationsindex (PR) stellt die Differenz zwischen den Hits und den Falschen Alarmen dar und ermöglicht damit die Überprüfung der Genauigkeit der Gedächtnisleistung.

Es zeigt sich, mithilfe einer ANOVA mit Messwiederholung, bei der Untersuchung der neu eingeführten Instruktion I und somit des erweiterten DF-Paradigmas ein signifikanter Effekt für $R > F > I$ ($F(2,80)=29.51$, $p < .00001$). Untersucht man die Instruktionen getrennt voneinander, ergeben sich im t-Test signifikante Ergebnisse für $R > F$ ($t(82)=2,29$, $p < .05$), $R > I$ ($t(82)=5,37$, $p < .001$) und $F > I$ ($t(82)=2.92$, $p < .01$) (Abbildung 12). Der DF-Effekt ($R > F$) bestätigt sich somit für die PR-Werte. Insgesamt bedeutet das Ergebnis, dass die

Ergebnisse

Genauigkeit der Gedächtnisleistung für die Instruktion R am höchsten und für die Instruktion I am niedrigsten ist

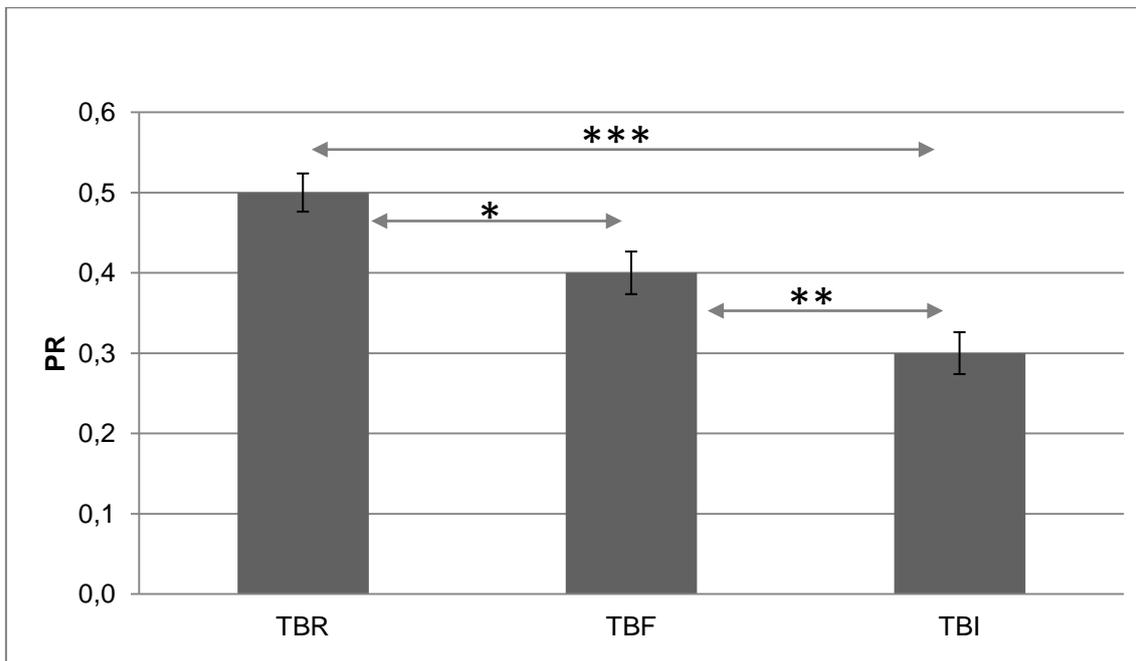


Abbildung 12 Darstellung des Gerichteten Vergessens anhand des Diskriminationsindexes. Die Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Gedächtnisgenauigkeit von den Bildinstruktionen R, F, I. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; PR=Diskriminationsindex; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant; TBR=To be remembered; TBF=To be forgotten; TBI=To be irrelevant (* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$)

Bei der Untersuchung des Haupteffektes der anodalen Stimulation auf die Gedächtnisgenauigkeit kommt es zu keinem signifikanten Ergebnis ($F(1,40)=2,20$, $p=.15$). Mithilfe einer 2 (Stimulation: Sham, Verum) x 3 (Instruktionen: R, F, I) ANOVA mit Messwiederholung wird zusätzlich der Einfluss der tDCS auf die Gedächtnisgenauigkeit der einzelnen Instruktionen untersucht, was wiederum zu keinem signifikanten Ergebnis führt ($F(2,80)=.23$, $p=.79$) (Abbildung 13). Das bedeutet, dass insgesamt kein Einfluss der anodalen tDCS auf die Genauigkeit der Gedächtnisleistung nachgewiesen werden konnte.

Ergebnisse

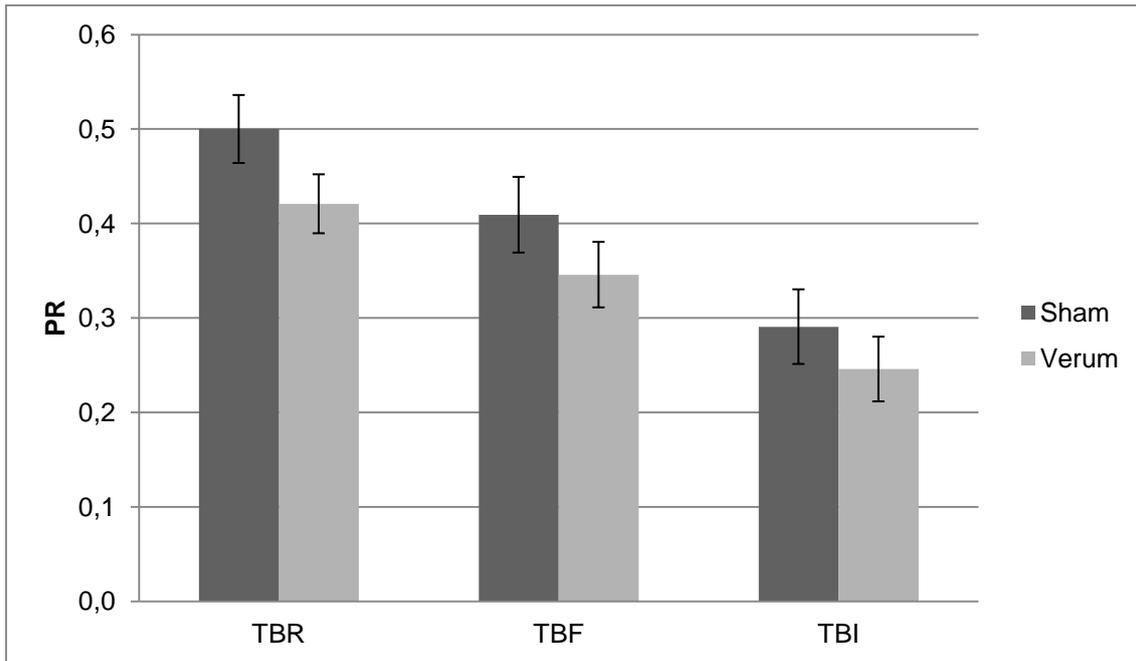


Abbildung 13 Darstellung des Effektes der anodalen tDCS auf den Diskriminationsindex und somit auf die Gedächtnisgenauigkeit in den einzelnen Instruktionen R, F und I. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; PR=Diskriminationsindex; TBR=To be remembered; TBF=To be forgotten; TBI=To be irrelevant; Sham= Scheinstimulation Verum=anodale Stimulation; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant

3.1.2 Korrektes Erinnern (Hits)

Zum Vergleich der Auswirkungen der Instruktionen „Merken“ (R), „Vergessen“ (F) und „Irrelevant“ (I) auf das Korrekte Erinnern (Hits) wird eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt.

Es zeigt sich bei der Untersuchung der neuen Instruktion I und somit des erweiterten DF-Paradigmas für das Korrekte Erinnern ein signifikanter Effekt für $R > I \geq F$ ($F(2,80)=36,53$; $p < .00001$). Untersucht man die Instruktionen getrennt ergeben sich im t-Test signifikante Ergebnisse für $R > F$ ($t(82)=5,90$, $p < .001$) und $R > I$ ($t(82)=5,89$, $p < .001$). Allerdings lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Hit-Rate für TBF-Bilder und TBI-Bilder feststellen ($t(82)=0,05$, $p=0,96$) (Abbildung 14). Der DF-Effekt ($R > F$) bestätigt sich somit für das Korrekte Erinnern. Insgesamt bedeutet das, dass die TBR-Bilder am besten erinnert werden, während die TBI- und TBF-Bilder ähnlich korrekt erinnert werden.

Ergebnisse

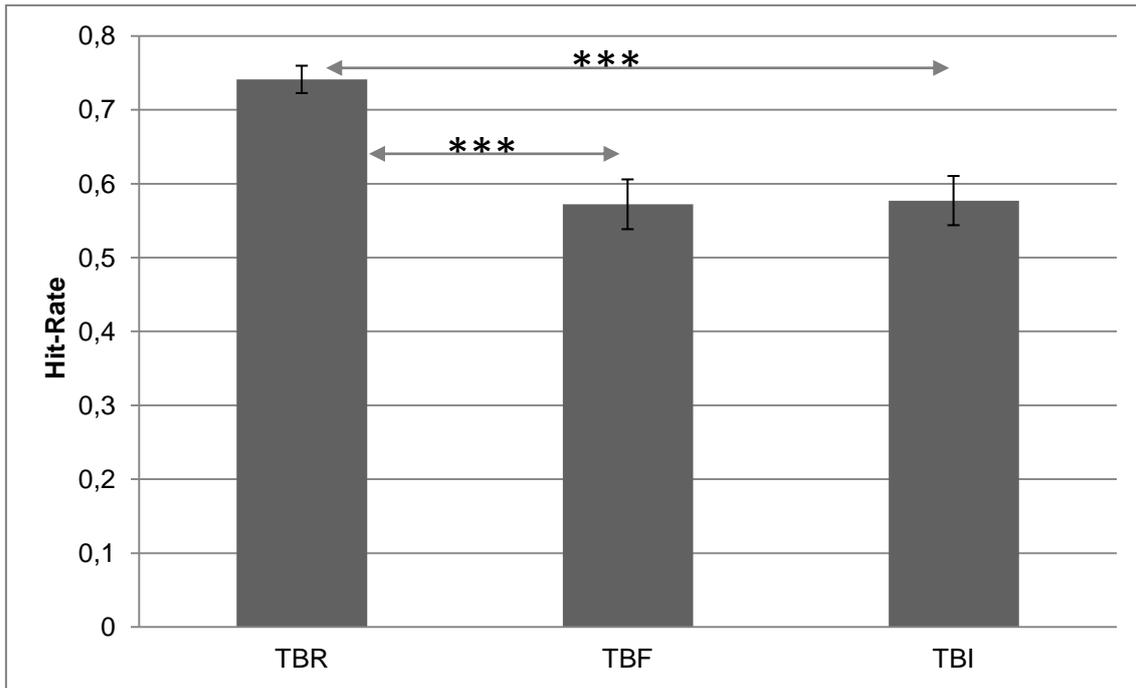


Abbildung 14 Darstellung des Gerichteten Vergessens anhand der Hit-Rate (Mittelwerte der Hit-Raten mit Standardabweichung). Die Abbildung zeigt das Korrekte Erinnern in den Bildinstruktionen R, F und I. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; TBR=To be remembered; TBF=To be forgotten; TBI=To be irrelevant; Hit=Treffer; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant (* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$)

Bei der Untersuchung des Haupteffektes der anodalen Stimulation auf das Korrekte Erinnern kommt es zu keinem signifikanten Ergebnis ($F(1,40) = .21$, $p = .65$). Mithilfe einer 2 (Stimulation: Sham, Verum) x 3 (Instruktionen: R, F, I) ANOVA mit Messwiederholung wird zusätzlich der Einfluss der tDCS auf die Hit-Rate der einzelnen Instruktionen untersucht, was wiederum zu keinem signifikanten Effekt führt ($F(2,80) = .95$, $p = .39$) (Abbildung 15). Das bedeutet, dass insgesamt kein Einfluss der anodalen tDCS auf das Korrekte Erinnern nachgewiesen werden konnte.

Ergebnisse

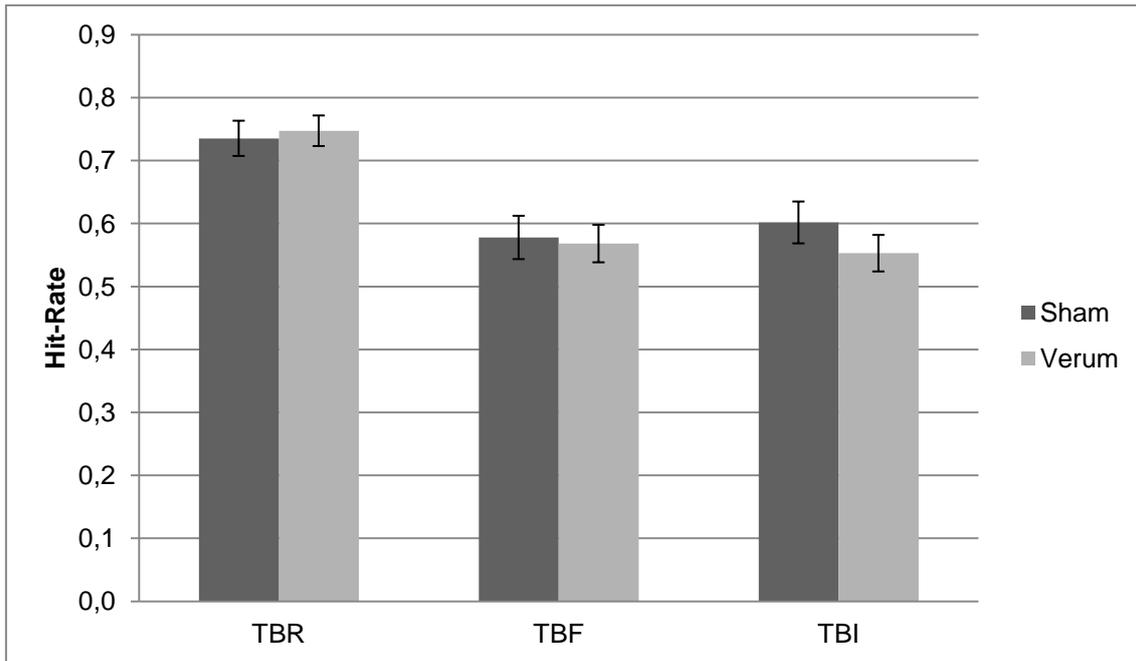


Abbildung 15 Darstellung des Effektes der anodalen tDCS auf das Korrekte Erinnern in den einzelnen Instruktionen R, F und I (Mittelwerte der Hit-Raten mit Standardabweichung). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; TBR=To be remembered; TBF=To be forgotten; TBI=To be irrelevant; Hit=Treffer Verum=Anodale Stimulation; Sham=Scheinstimulation; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant

3.1.3 Falsches Erinnern (FA)

Zur Beurteilung des DF des Falschen Erinnerns wird eine ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt.

Es zeigt sich, mithilfe einer ANOVA mit Messwiederholung, bei der Untersuchung der neuen Instruktion I und somit des erweiterten DF-Paradigmas für die Falsch Alarm-Rate ein signifikanter Effekt für $I \geq R > F$ ($F(2,80)=18,25$, $p < .0001$). Vergleicht man die Instruktionen miteinander, ergeben sich im t-Test signifikante Ergebnisse für $R > F$ ($t(82)=3,69$, $p < .001$) und $I > F$ ($t(82)=5,01$, $p < .0001$). Allerdings lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Falsch Alarm-Raten für TBR- und TBI-Bildern feststellen ($t(82)=0,83$, $p=0,41$) (Abbildung 16). Das bedeutet, dass die TBF-Bilder am seltensten falsch erinnert werden, während die TBI- und TBR-Bilder ähnlich häufig falsch erinnert werden.

Ergebnisse

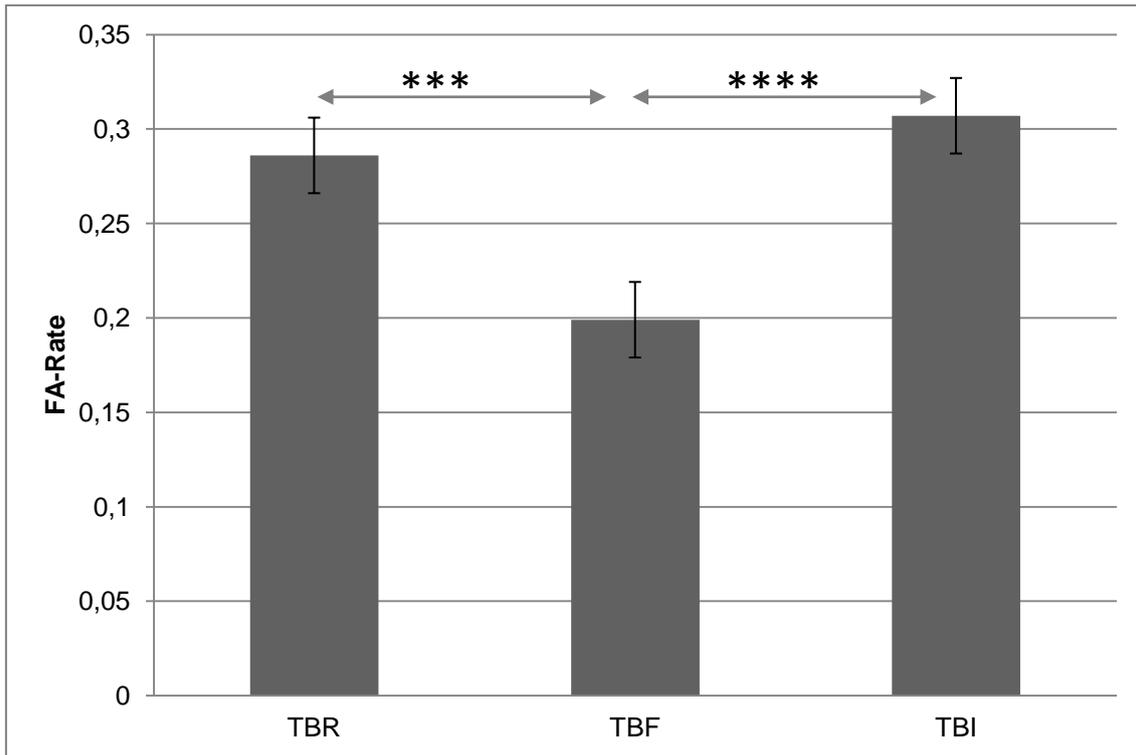


Abbildung 16 Darstellung des Gerichteten Vergessens anhand der Falschen Alarm-Rate (Mittelwerte der FA-Rate mit Standardabweichung). Die Abbildung zeigt das Falsche Erinnern in den Bildinstruktionen R, F und I. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an. Worterklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; TBR=to be remembered; TBF=to be forgotten; TBI=to be irrelevant; FA=Falscher Alarm; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant (* p<.05; ** p<.01; *** p<.001; ****p<.0001)

Bei der Untersuchung des Haupteffektes der anodalen Stimulation auf das Falsche Erinnern kommt es knapp zu keinem signifikanten Ergebnis, jedoch zu einem Trend, für den Einfluss der anodalen tDCS auf die Falsche Alarm-Raten ($F(1,40)=3.71$, $p=0.06$). Mithilfe einer 2 (Stimulation: Sham, Verum) x 3 (Instruktionen: R, F, I) ANOVA mit Messwiederholung wird zusätzlich der Einfluss der tDCS auf das Falschgedächtnis der einzelnen Instruktionen untersucht, was wiederum zu einem Trend führt ($F(2,80)=3.00$, $p=.055$). Aufgrund dieses Trends untersuchen wir anhand einer einfaktoriellen ANOVA die Instruktionen getrennt voneinander. Es ergibt sich ein signifikanter Effekt der anodalen tDCS auf die Falsche Alarm-Raten der TBR-Bilder ($F(1,40)=6.00$, $p<.02$) sowie auf die TBF-Bilder ($F(1,40)=4.04$, $p=.05$) (Abbildung 17). Für die Bildinstruktion I findet sich kein signifikantes Ergebnis ($F(1,40)=.01$, $p=.91$). Die anodale tDCS bewirkt somit eine erhöhte Falsche Alarm-Rate, im Gegensatz zur Scheinstimulationsbedingung. Das bedeutet, dass unter

Ergebnisse

anodaler Stimulation bei den R- und F-Instruktionen vermehrt eine falsche Erinnerung erzeugt wird. Für die TBI-Bilder konnte kein Einfluss der anodalen tDCS nachgewiesen werden.

Betrachtet man zusammenfassend das Falsche (FA) und das Korrekte (Hit) Wiedererkennen getrennt voneinander, erkennt man, dass der anodale Stimulationseffekt v.a. auf das Falschgedächtnis zurückzuführen ist.

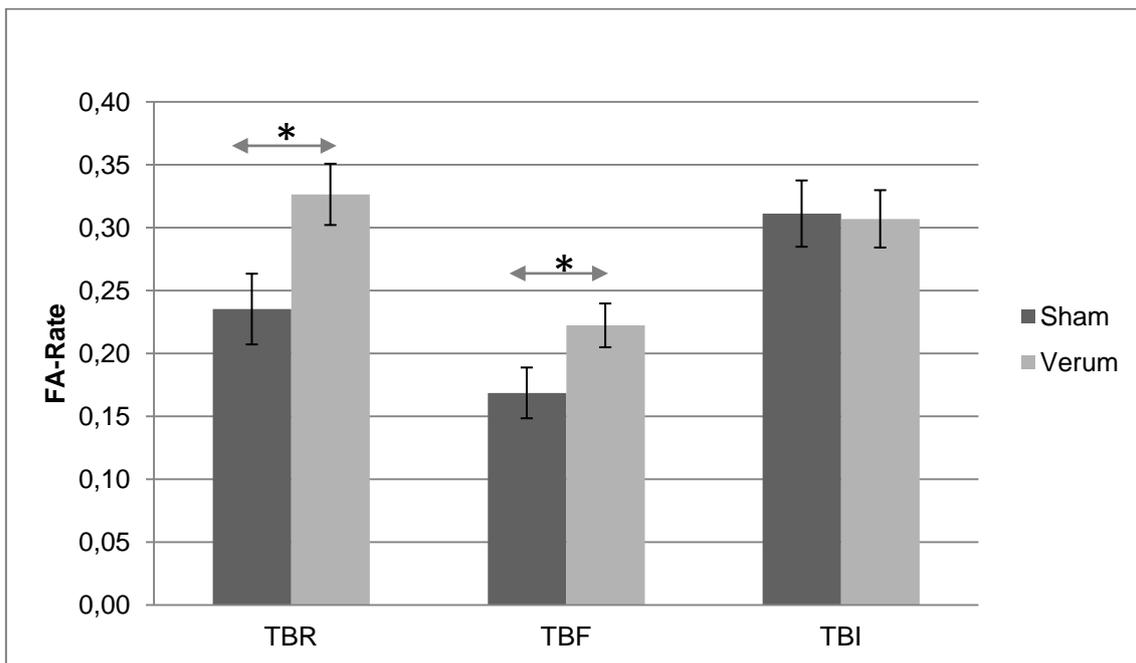


Abbildung 17 Darstellung des Effektes der anodalen tDCS auf das Falsche Erinnern in den einzelnen Instruktionen R, F und I Rate (Mittelwerte der FA-Rate mit Standardabweichung). Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an. Wortklärung: DF=Gerichtetes Vergessen; TBR=To be remembered; TBF=To be forgotten; TBI=To be irrelevant; Hit=Treffer Verum=Anodale Stimulation; Sham=Scheinstimulation; R=Remember; F=Forget; I=Irrelevant (+ p<.05 * p<.05; ** p<.01; *** p<.001)

3.2 Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Antwortgeschwindigkeit

Die Reaktionszeit in der Wiedererkennungsphase unserer Studie ist definiert als die benötigte Zeit vom Erscheinen des Bildes auf dem Computerbildschirm bis zum Betätigen der Maustaste.

Untersucht man die Reaktionszeiten für das Korrekte Erinnern anhand der Instruktionen R, F und I getrennt voneinander, ergeben sich keine signifikanten

Ergebnisse

Unterschiede zwischen den Instruktionen R und F ($t(82)=0.78$, $p=.44$), R und I ($t(82)=1.89$, $p=0.06$) sowie F und I ($t(82)=1.09$, $p=0.28$). Das bedeutet, dass die Instruktionen gleich schnell korrekt erinnert werden.

Untersucht man die Reaktionszeiten für das Falsche Erinnern anhand der Instruktionen R, F und I getrennt voneinander, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den TBR- und TBF-Bildern ($t(82)=1.92$, $p=.058$), den TBR- und TBI-Reizen ($t(82)=1.43$, $p=0.16$) sowie den TBF- und TBI-Reizen ($t(82)=0.38$, $p=0.7$). Das bedeutet, dass die Instruktionen eine ähnlich lange Reaktionszeit beim Falschen Erinnern benötigen.

Schließlich wird der Einfluss der anodalen tDCS auf die Reaktionszeit der einzelnen Instruktionen untersucht. Bei der Untersuchung durch die 2 (Stimulation: Sham, Verum) x 3 (Instruktionen: R, F, I) ANOVA mit Messwiederholung kommt es zu keinem signifikanten Effekt der Stimulationsart auf die Reaktionszeiten der Hits ($F(2,80)=1.47$, $p=.23$) und der Falschen Alarme ($F(2,80)=1.98$, $p=.14$). D.h. es wird aufgrund der Stimulation keine schnellere oder langsamere Reaktionszeit erreicht.

3.3 Effekte der anodalen Gleichstromstimulation auf die Aufmerksamkeit

Der D2 ist ein Aufmerksamkeitsstest der in dieser Untersuchung als Distraktoraufgabe eingesetzt wird. Zusätzlich wird jedoch, anhand einer einfaktoriellen ANOVA, untersucht, ob die anodale tDCS einen Einfluss auf die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistungen der Probanden hat. Es besteht jedoch sowohl in der Gesamtzahl der bearbeiteten Zeichen (GZ) ($F(1,40)=0.01$, $p=.91$), der Anzahl der produzierten Fehler (D2F) ($F(1,40)=0.17$, $p=.67$) sowie der Konzentrationsleistung (KI) ($F(1,40)=0.15$, $p=.70$) kein signifikanter Unterschied zwischen der Scheinstimulations- und der Stimulationsgruppe. Somit hat die anodale Stimulation keinen Einfluss auf die Genauigkeit, das Arbeitstempo, die Detaildiskrimination und die Konzentrationsleistung.

4 Diskussion

4.1 Diskussionseinleitung: Gedächtnisgenauigkeit und Gerichtetes Vergessen

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkungen der anodalen tDCS des linken DLPFC auf die Gedächtnisgenauigkeit. Es ergeben sich drei zentrale Fragestellungen:

- Die erste Fragestellung überprüft das Paradigma des Gerichteten Vergessens, welches die Untersuchung von selektivem Abruf und zielgerichtetem Erinnern von Gedächtnisinhalten ermöglicht. Das DF besagt, dass Bilder mit der „Instruktion Vergessen“ schlechter erinnert werden können als Bilder mit der „Instruktion Merken“ und deutet somit daraufhin, dass Gedächtnisinhalte vermutlich willentlich vergessen werden können. Der DF-Effekt, $R > F$, lässt sich auch in unserer Studie für die Hits sowie den Diskriminationsindex reproduzieren. Grundlegend hierfür ist vermutlich die unterschiedliche neuronale Verarbeitung und Kodierung der TBR- und TBF-Reize sowie eine aktive Hemmung der Weiterverarbeitung der TBF-Reize.
- Die zweite Fragestellung beschäftigt sich mit der Eingliederung der neuen Instruktion I in das DF-Paradigma. Zusätzlich zu den beiden klassischen aktiven Verarbeitungshinweisen R und F, d.h. „merke dir das Bild“ und „vergesse das Bild“, ist eine dritte neutrale Instruktion I mit dem Begriffsinhalt „der vorangegangene Reiz hat keine Bedeutung“ eingeführt worden. Die Instruktion I wird eingegliedert um ein genaueres Verständnis für die Entstehung des DF und v.a. für die Verarbeitung der unterschiedlichen Instruktionen zu erlangen. Man würde annehmen, dass die Probanden sich an die TBF-Reize gleich schlecht oder schlechter erinnern, als an die TBI-Reize ohne direkten Verarbeitungshinweis. In unserer Studie zeigt sich jedoch, dass die Genauigkeit der Gedächtnisleistung für die Instruktion I am niedrigsten ist. Bei der Untersuchung des Korrekten Erinnerns werden insgesamt die

Diskussion

TBR-Bilder am besten erinnert, während die TBI- und TBF-Bilder ähnlich wenig korrekt erinnert werden. Weiterhin zeigt sich bei der Untersuchung des Falschen Erinnerns, dass die TBF-Bilder am seltensten falsch erinnert werden, während die TBI- und TBR-Bilder ähnlich häufig falsch erinnert werden. Grundlage hierfür ist, dass bedeutungsvolle Instruktionen, wie R oder F, zu einer aktiven Verarbeitung der Stimuli und somit zu einer Aktivierung führen. Dadurch werden diese Gedankeninhalte, im Vergleich zu Reizen mit irrelevanten Instruktionen, akkurater abgespeichert. Ein Erklärungsansatz können die ironischen Gedankenkontrollprozesse von Wegner sein (Wegner, 1994).

- Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit analysiert die Effekte der anodalen tDCS des linken DLPFC auf die Gedächtnisleistung. Durch neue Studien versucht man neue Einsatzgebiete für die Anwendung der tDCS zu finden. Deshalb untersuchen wir in unserer Studie die Auswirkungen der tDCS auf die kognitive Kontrolle, um mögliche neue Behandlungsansätze für Erkrankungen mit Gedächtnisstörungen zu finden. Betrachtet man in unserer Studie zusammenfassend das Falsche (FA) und das Korrekte (Hit) Wiedererkennen sowie die Gedächtnisgenauigkeit getrennt voneinander, erkennt man, dass der anodale Stimulationseffekt auf das Falschgedächtnis zurückzuführen ist. Die anodale tDCS bewirkt vermutlich eine erhöhte Falsche Alarm-Rate im Gegensatz zur Scheinbedingung. Das bedeutet, dass unter anodaler Stimulation bei den R- und F-Instruktionen vermehrt eine Falsche Erinnerung erzeugt wird. Für die TBI-Bilder konnte kein Einfluss der anodalen tDCS nachgewiesen werden. Grundlegend kann man sagen, dass es vermutlich durch die anodale Stimulation zur reduzierten Inhibierung des PFC und dadurch zur verminderten Detaildiskrimination kommt. Das wiederum führt zur gesteigerten Erinnerungsverfälschung und vermehrtem Falschen Erinnern.

4.2 Gerichtetes Vergessen

4.2.1 Allgemeine Diskussion über das Gerichtete Vergessen

Die erste Fragestellung dieser Arbeit überprüft die Reproduzierbarkeit des Paradigmas des Gerichteten Vergessens. Die Item-Methode des DF ist ein in der kognitiven Neurowissenschaft seit längerem etabliertes Verfahren, welches die Untersuchung von selektivem Abruf und zielgerichtetem Erinnern von Gedächtnisinhalten ermöglicht. Es verdeutlicht, dass Gedächtnisinhalte willentlich vergessen werden können.

Beim DF werden den Probanden in der Lernphase zu lernende Reize präsentiert, die darauffolgend mit den Instruktionen R oder F, d.h. „merke dir oder vergesse das Bild“, versehen sind. In der nachfolgenden Wiedererkennungsphase werden alle Reize, unabhängig mit welchen Instruktionen sie in der Lernphase gekennzeichnet waren, abgefragt.

DF-Studien demonstrieren im Allgemeinen, dass TBR-Reize besser abgerufen und erinnert werden können als TBF-Reize (Hauswald & Kissler, 2008). In wenigen Studien zum DF wurde bisher das Falsche Erinnern analysiert. In diesen Studien konnte jedoch gezeigt werden, dass bei den Falschen Alarmen der DF-Effekt nicht reproduzierbar ist (Zwissler, 2011)

Diese Ergebnisse können mit der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden: Der DF-Effekt ($R > F$) lässt sich in unserer Studie für das Korrekte Erinnern darstellen. Bei der Untersuchung des Falschen Erinnerns lässt sich, wie erwartet, das DF nicht reproduzieren. Als zusätzliche Variable wird der Diskriminationsindex (PR) eingeführt. Er ermöglicht durch die gleichzeitige Berücksichtigung der Anzahl richtiger (Hits) und falscher Antworten (False Alarms) eine verzerrungsfreie Analyse des DF (Snodgrass & Corwin, 1988). Er dient der Überprüfung der Genauigkeit der Gedächtnisleistung. Die Analyse des Diskriminationsindex zeigt in unserer Studie, dass die Genauigkeit der Gedächtnisleistung für die Instruktion R höher als für die Instruktion F ist, d.h. $R > F$.

Die Erklärung des DF ($R > F$) lässt sich höchstwahrscheinlich in der unterschiedlichen Verarbeitung und Kodierung der TBR- und TBF-Reize finden (Hourihan & Taylor, 2006). Die TBR- und TBF-Reize werden vom Probanden, bis zur Präsentation der Instruktion, in einer Art Warteschleife gehalten. Erst nach der Präsentation der Instruktion werden unterschiedliche Verarbeitungswege eingeschlagen. Die TBR-Reize werden weiter neuronal verarbeitet und ständig wiederholt, bis der nächste Stimulus präsentiert wird. Bei den TBF-Reizen vermutet man hingegen, dass die neuronale Weiterverarbeitung und Kodierung der Gedächtnisinhalte aktiv inhibiert wird (Geiselman & Bagheri, 1985) und die TBF-Reize deshalb schlechter erinnert werden können als die TBR-Reize.

4.2.2 Fehlende Reproduzierbarkeit des Gerichteten Vergessens-Effekts beim Falschen Erinnern

In unserer Studie lässt sich bei der Untersuchung des Falschen Erinnerns das Gerichtete Vergessen nicht reproduzieren. Für das Falsche Erinnern zeigt sich anstatt dessen der Effekt $I \geq R > F$, was bedeutet, dass die TBF-Bilder am wenigsten häufig falsch erinnert werden, während die TBI- und TBR-Bilder ähnlich häufig falsch erinnert werden. Dieses Ergebnis lässt sich auch in einigen anderen Studien wiederfinden (Festini & Reuter-Lorenz, 2013; Marche, Brainerd, Lane, & Loehr, 2005; Zwissler, 2011). Wie auch in unserer Studie, werden für die TBR-Reize, im Gegensatz zu den TBF-Reizen, mehr Falsche Alarme produziert. Das bedeutet, dass die Instruktion F zur Reduktion des Falschgedächtnisses führt und somit zur genaueren Enkodierung, im Gegensatz zu den TBR-Reizen.

Festini und Reuter-Lorenz (2013) verwenden in ihrer Studie die Listen-Methode mit sehr kurzen Wortlisten. Sie verweisen aber darauf, dass die Verarbeitung kurzer Wortlisten eher der Item-Methode als der Listenmethode gleichen würde. Deshalb ist deren Interpretationsansatz vermutlich auch auf unsere Studie übertragbar. Festini und Reuter-Lorenz (2013) stellen die Vermutung an, dass die Instruktion F die assoziative und semantische Weiterverarbeitung der

Wörter reduziert, d.h. dass Verknüpfungen und Priming ähnlicher und in Kategorien zusammenhängende Wörter durch den TBF- Reiz vermindert werden (Festini & Reuter-Lorenz, 2013). Es wäre vorstellbar, dass die Bilder in unserer Studie in der Lern- und der Wiederholungsphase, zusätzlich zur bildlichen Vorstellung, als Hauptwörter sprachlich wiederholt werden und somit gleichzeitig, ähnlichen, semantischen und assoziativen Verarbeitungsmechanismen unterzogen werden. Ist z.B. auf dem präsentierten Bild ein Schwan zu sehen, stellt sich der Proband einerseits einen Schwan vor, wiederholt aber zusätzlich gedanklich das Wort Schwan. Dadurch wird möglicherweise die Detaildiskrimination, welche in unserer Studie aufgrund der ähnlichen Bilderpaare sehr wichtig ist, vermindert.

Verschiedene Studien zu dem Thema Falschgedächtnis halten es für möglich, dass die Gedächtniskontrolle bei der Wiederholung des Wortes/Bildes, zusammen mit dessen assoziativen Verknüpfung, zur Produktion eines Falschgedächtnis führen kann (McClelland & Rumelhart 1981). Dadurch kann es dann bei der Wiedererkennung und v.a. beim Abruf des Gedächtnisinhaltes zur Summation der gebildeten assoziativen Pfade kommen und somit zum Falschen Alarm (Gallo, 2010).

Auch die Fuzzy Trace Theorie besagt, dass Gedächtnisinhalte über zwei Wege eingespeichert, abgerufen und wiedererkannt werden. Ein Pfad speichert das Wort/Bild wortwörtlich (vM) ab. Für die Falschen Alarme ist jedoch v.a. der zweite Pfad von Bedeutung, welcher die Gedächtnisinhalte v.a. anhand von Hauptwörtern (gM), welche den zu merkenden Inhalt beschreiben, verarbeitet und abspeichert (Reyna & Brainerd, 1995). Laut dieser Theorie wird das gM v.a. durch Wiederholungen verstärkt, wie es im Falle der TBR-Reize erfolgt. Da der akkurate Gedächtnisinhalt dadurch schneller verloren gehen würde und v.a. das Hauptwort verstärkt eingespeichert bliebe, könnte, wie oben schon einmal erwähnt, die Detaildiskrimination vermindert und somit die Falsche Alarm-Rate erhöht sein.

Es wäre somit denkbar, dass die TBR-Reize aufgrund der aktiven neuronalen Weiterverarbeitung und Wiederholung, im Gegensatz zur aktiven Inhibierung

der TBF- Reize, verstärkt durch die obengenannten Verarbeitungsprozesse beeinflusst werden.

Außerdem ist zu beachten, dass auch die TBF-Reize der Erinnerungsverfälschung (Williams et al., 2010) unterliegen und somit Falsche Alarme erzeugen. Hier wäre interessant zu erfahren welchen Einfluss die Zeit vor der Präsentation der Verarbeitungsinstruktion und somit die Zeit vor der aktiven Inhibierung spielt. D.h. die Zeit in der TBF- und TBR-Reiz gleich behandelt werden und der sogenannten aktiv wiederholenden Warteschleife zugeführt werden. Zusätzlich werden sowohl die TBF-, als auch die TBR-Bilderpaare, als Hauptwörter verarbeitet (gM), was wiederum ein Erklärungsansatz für die Falsche Alarm-Rate in allen Instruktionen darstellt.

Wie in Studien gezeigt wurde, wird die Erinnerungsverfälschung v.a. durch Stress und dessen Auswirkung auf den PFC und den Hippocampus ausgelöst (Payne et al., 2002). Man vermutet, dass v.a. die gestörte Funktion des PFC und eine zu schwache Inhibition dieser Areale ausschlaggebend für die Entstehung einer Erinnerungsverfälschung sind (Butler et al., 2004). Wie oben schon einmal erwähnt, kommt es bei den TBF-Reizen zur aktiven Inhibierung der Gedächtnisinhalte, was wiederum die verminderte Entstehung der Erinnerungsverfälschung und somit der False Alarm-Rate erklären könnte. Es wäre außerdem denkbar, dass die TBR-Reize bei den Probanden einen gewissen Leistungsdruck und somit Stress und eine erhöhte Falsche Alarm-Rate auslösen.

Diese Ergebnisse spielen auch im beruflichen Leben, beispielsweise bei Gerichtsverhandlungen, eine Rolle. Schacter und Loftus (2013) beschreiben das Gedächtnis als einen dynamischen Prozess, welcher nicht wie eine Videokamera funktioniert und deshalb auch zu Fehlern tendiert. So passiert es nicht selten, dass Augenzeugen unabsichtlich Falschaussagen über Personen und Tatabläufe ablegen (Schacter & Loftus, 2013). Es kann somit bei wichtigen zu erinnernden Themen unter Stress, beispielsweise bei Zeugenbefragungen, zur vermehrten Erinnerungsverfälschung kommen.

Weitere Verfahren, welche in unserer Studie angewandt werden und von denen vermutet wird, dass sie die Falsche Alarm-Rate reduzieren, sind die Item-

Methode und die visuelle Präsentation des zu lernenden Materials (Gallo, McDermott, Percer, & Roediger, 2001). Marche et al. (2005) verwendeten ebenfalls die Item-Methode, jedoch mit Wortpaaren. Auch sie erhalten eine höhere Falsche Alarm-Rate für TBR-Reize im Gegensatz zu den TBF-Reizen. Insgesamt verringert die Item-Methode jedoch die Falsche Alarm-Rate im Vergleich zur Listen-Methode (Marche et al., 2005). Ein Grund dafür könnte sein, dass die Zeit zwischen Bild und Instruktion in der Listen-Methode verlängert und die Probanden den Reiz erst verspätet einer aktiven Verarbeitung oder Hemmung zuführen. Studien, welche mit der Listen-Methode und sehr langen Wortlisten arbeiten, können im Gegensatz zu unserer Studie, keinen Unterschied bei den Falsche Alarm-Rate der TBF- und TBR-Reizen (Seamon, Luo, Shulman, Toner, & Caglar, 2002) oder sogar geringere Falsche Alarm-Rate für TBR-Reize aufzeigen (Kimball & Bjork, 2002).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse unserer Studie, dass sowohl die TBR-Reize als auch die TBF- Reize Falsches Erinnern erzeugen. Allerdings zeigt sich, dass es durch die aktive Weiterverarbeitung und v.a. die vermehrte Wiederholung der zu merkenden Reize zur vermehrten Beeinflussung der TBR-Reize im Gegensatz zu den TBF-Reizen kommt. Somit wird in der R-Instruktion vermehrt Falsches Erinnern erzeugt. Unsere Studie unterstützt somit die Annahme, dass das DF in der Lage ist das Falsche Erinnern und die Erinnerungsverfälschung in der Instruktion F zu vermindern

4.2.3 Eingliederung und Erläuterung der „Instruktion Irrelevant“

Die zweite Fragestellung beschäftigt sich mit der Eingliederung der neuen Instruktion I in das DF-Paradigma. Zusätzlich zu den beiden klassischen aktiven Verarbeitungshinweisen R und F ist eine dritte neutrale Instruktion I mit dem Begriffsinhalt „der vorangegangene Reiz hat keine Bedeutung“ eingeführt worden.

Man würde annehmen, dass die TBF-Reize, im Gegensatz zu den TBI-Reizen ohne direkten Verarbeitungshinweis, gleich schlecht oder schlechter erinnert

werden können. In den wenigen Studien zu diesem Thema zeigte sich jedoch, dass die TBF-Reize besser erinnert werden können, als die TBI-Reize (Zwissler et al., submitted).

Dieses Ergebnis lässt sich in unserer Studie replizieren. Betrachtet man den Diskriminationsindex (PR), welcher die Differenz aus den Hits und den Falschen Alarmen darstellt, zeigt sich, vergleichbar zur Studie von Zwissler et al. (submitted), die geringste PR-Rate für die TBI-Bilder, also $R > F > I$. Das verdeutlicht, dass wenige Hits und/oder viele Falsche Alarme produziert werden. Betrachtet man nur die Anzahl an Hits, besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den TBF- und TBI-Reizen, d.h. $R > F = I$. Was wiederum impliziert, dass signifikant mehr Falsche Alarme bei den TBI-Reizen erzielt werden, also $I = R > F$. Zusammenfassend kann man nun sagen, dass die Gedächtnisgenauigkeit für zu vergessende Bilder (TBF) gegenüber zu merkenden Bildern (TBR) vermindert, im Vergleich zu neutralen (TBI) Bildern, jedoch erhöht ist.

Die bessere Wiedererkennungsrates der TBR-Reize im Vergleich zu den TBF- und TBI-Reizen, kann durch die selektive und aktive Wiederholung der zu lernenden Stimuli erklärt werden. Die TBF-Reize hingegen unterliegen in ihrem Verarbeitungsprozess einer aktiven Inhibierung und erlangen deshalb niedrige Wiedererkennungsrates. Diese aktive Hemmung würde eigentlich für eine ungenauere Gedächtnisleistung in der F-Instruktion, im Vergleich zu der I-Instruktion, sprechen. Ein Erklärungsansatz für die höheren PR-Raten in der F-Instruktion könnten die ironischen Gedankenkontrollprozesse sein. Studien, welche sich mit Gedankenkontrollprozessen beschäftigen, zeigen, dass die Gedankenunterdrückung paradoxe Prozesse induzieren kann. Wichtige Erklärungsmodelle hierbei stellen die ironischen Prozesse und das Polarbär-Experiment von Wegner dar (Wegner, 1994). Obwohl die Probanden in dem sogenannten Polarbär-Experiment dazu aufgefordert werden, ist es ihnen nicht möglich den Gedanken an einen weißen Bären zu unterdrücken. Diese sogenannten ironischen Prozesse treten normalerweise selten unter normalen Bedingungen auf. Es kommt v.a. aufgrund von Stress, Müdigkeit, Ablenkung oder mentaler Belastung, wie es in diesem Studiendesign der Fall ist, zur

übermäßig starken Präsenz des ungewollten Gedanken und zum verminderten Vergessenseffekt (Aronson et al., 2008).

Übertragen auf die Reize könnte das bedeuten, dass Instruktionen, wie F und R, welche den Probanden darauf hinweisen, wie der vorherige Stimulus zu verarbeiten ist, die Aufmerksamkeit auf diese Reize erhöhen. Und somit der TBF-Reiz, der eigentlich verdrängt und vergessen werden sollte, durch die Alarmierung und ironischen Prozesse eine stärkere Präsenz hat, als der neutrale TBI-Reiz. Diese Aussage soll nicht die Hypothese der aktiven Inhibierung der TBF-Reize in Frage stellen. Sie ist höchstwahrscheinlich für den DF-Effekt und somit den Unterschied zwischen den Hits der TBR- und TBF-Bilder verantwortlich. Zusätzlich spielt wahrscheinlich die Zeit vor der Präsentation der Instruktionen und somit die Zeit vor der aktiven Inhibierung eine wesentliche Rolle. D.h. die Zeit vor der Instruktionspräsentation in der TBF- und TBR-Reiz gleich behandelt und der sogenannten Warteschleife zugeführt werden. Verstärkt wird diese These durch Studien, welche zeigen, dass TBF- und TBR-Reize in ihrer Wiedererkennungsrates von einer verlängerten Zeit zwischen vorangegangener Instruktion und dem zunächst präsentierten Bild profitieren (Lee, Lee, & Tsai, 2007). Vermutlich wird somit nur der TBI-Reiz wirklich ignoriert, wodurch dieser höchstwahrscheinlich ungenauer eingespeichert und schlechter von ähnlichen Stimuli unterschieden werden kann als das TBF-Bild. Das könnte wiederum ein Erklärungsansatz für die höhere Falsche Alarm-Rate der TBI-Reize gegenüber den TBF-Reizen sein. Dieses Ergebnis kann wiederum auf das alltägliche Leben übertragen werden. Schacter und Loftus (2013) beschreiben, wie oben erwähnt, das Gedächtnis als einen dynamischen Prozess, welcher nicht wie eine Videokamera funktioniert (Schacter & Loftus, 2013). Ein Unterschied zwischen Videokamera und Gedächtnis ist z.B. der Reset Button. Im alltäglichen Leben gibt es keine Rücksteltaste, die es einem ermöglicht, unangenehme Erlebnisse aus dem Gedächtnis zu streichen und auf Kommando zu vergessen. So bleiben einem v.a. negative (zu vergessende) sowie positive (zu erinnernde) Lebensereignisse, wie z.B. der erste Liebeskummer oder die eigene Hochzeit, im Gedächtnis. Dagegen schenkt man neutralen Ereignissen, wie z.B. dem

täglichen Einkauf im Supermarkt, weniger Aufmerksamkeit, wodurch die Erinnerung an solche Ereignisse eher verloren geht.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die bedeutungsvollen Instruktionen R und F zu einer aktiveren Verarbeitung der Bilder führen und diesen somit eine vermehrte Aufmerksamkeit zukommt. Dadurch speichert man diese Gedankeninhalte, im Vergleich zu Reizen mit neutraler Instruktion, akkurater ab, wodurch die Gedächtnisgenauigkeit für diese Bilder erhöht und für TBI-Bilder vermindert wird. Zusätzlich unterliegt die F-Instruktion vermutlich den von Wegner beschriebenen ironischen Prozessen (Wegner, 1994).

4.3 Transkranielle Gleichstromstimulation

4.3.1 Allgemeine Diskussion über die transkranielle Gleichstromstimulation und ihre Wirkung

Die dritte und zentrale Fragestellung unserer Studie analysiert die Effekte der anodalen tDCS des linken DLPFC auf die Gedächtnisleistung. Die tDCS induziert durch schwachen Gleichstrom Veränderungen der kortikalen Exzitabilität und somit funktionelle Veränderungen in Zielarealen des Gehirns. Die anodale Stimulation führt zur Depolarisation und dadurch zu gesteigerten Entladung von Neuronen, während die kathodale Stimulation zu Hyperpolarisation und geringeren Entladung führt (Creutzfeldt, Fromm, & Kapp, 1962). Der Stimulationsort unserer Studie ist der linke DLPFC, da er höchstwahrscheinlich den Verarbeitungsort der TBF- (Paz-Caballero et al., 2004) und TBR-Reize (Wylie et al., 2008) sowie der kognitiven Kontrolle (Miller & Cohen, 2001) darstellt. Bisher gibt es wenige Studien welche den Effekt der tDCS auf die Gedächtniskontrolle, das Falschgedächtnis, die Gedächtnisgenauigkeit und somit auf das DF untersucht haben. Eine Studie, welche diesen Themenbereich anschneidet, untersucht die Auswirkung der bilateralen Gleichstromstimulation auf das Emotionsgedächtnis (Penolazzi et

al., 2010). Penolazzi et al. (2010) zeigten, dass die anodale Stimulation einen hemmenden Effekt auf die Leistung des Emotionsgedächtnisses hat. Dieses Ergebnis lässt sich in unserer Studie replizieren. Allerdings hat die anodale tDCS in unserer Studie nur Einfluss auf das Falschgedächtnis. Das Korrekte Erinnern sowie die Gedächtnisgenauigkeit werden hingegen nicht durch die Stimulation beeinflusst. Betrachtet man den Effekt der anodalen tDCS auf das Falschgedächtnis genauer ergibt sich ein Trend für die Beeinflussung der Falsch Alarm-Raten der TBF- und TBR-Bilder, jedoch nicht für die TBI-Bilder. Das bedeutet, dass unter anodaler Stimulation bei den R- und F-Instruktionen, im Gegensatz zur Scheinstimulationsbedingung, vermehrt eine Falsche Erinnerung erzeugt wird.

Weiterhin zeigt unsere Studie, dass bei den TBR-Bildern in der Stimulationsbedingung, im Gegensatz zu den TBF-Bildern, vermehrt Falsches Erinnern auftritt. Somit hat die anodale Stimulation vermutlich auch in unserer Studie einen hemmenden Effekt auf das DF und die Gedächtnisleistung.

4.3.2 Limitation

Die Analyse der zentralen Fragestellung wirft die Überlegung auf, warum die anodale tDCS über dem linken DLPFC vor allem das Falschgedächtnis und nicht das Korrekte Erinnern oder die Gedächtnisgenauigkeit beeinflusst. Die vorliegenden Daten legen den Verdacht nahe, dass grundlegend verschiedene hirnpfysiologische möglicherweise aber auch hirnanatomische Korrelate, an der Entstehung des Falschgedächtnisses und des Korrekten Erinnerns beteiligt sind. Aufgrund unserer Ergebnisse zeigt sich, dass der linke DLPFC eine zentrale Rolle bei der Gedächtniskontrolle spielt. Es zeigt sich auch, dass der PFC nicht alleine für diese Funktion zuständig ist. Wylie und Kollegen (2008) verglichen anhand einer fMRT Studie bewusstes Vergessen mit bewusstem Erinnern und kamen zu dem Entschluss, dass unterschiedliche Hirnregionen an diesen Prozessen beteiligt sein müssen (Wylie et al., 2008) In mehreren Studien wurde der frontale Cortex als Entstehungsort des Falschen Erinnerns beschrieben (Butler et al., 2004), was wiederum die Beeinflussung der Falsch

Diskussion

Alarm-Rate durch die tDCS in unserer Studie erklärt. Der parietale Cortex hingegen spielt eine wichtige Rolle beim Wiederabruf von Gedächtnisinhalten und beim Korrekten Erinnern (Nelson, McDermott, Wig, Schlaggar, & Petersen, 2013). Kostopoulos und Petrides (2008) schreiben v.a. dem VLPFC den korrekten und aktiven Abruf von Gedächtnisinhalten zu. Beim inaktiven und automatischem Wiederabruf soll der Hippocampus eine Rolle spielen (Kostopoulos & Petrides, 2008). Diese beiden Gehirnareale sind verstärkt bei verbalen Stimuli aktiv. Als möglicher neuer Stimulationsort kommt eventuell der Parietalcortex in Frage. Allerdings müssten neue EEG- oder fMRT Studien gekoppelt mit einer Stimulationsbedingung durchgeführt werden, um den geeigneten Stimulationsort zu lokalisieren.

Die topografische Spezifität der tDCS ist nicht hoch, wodurch es zusätzlich zur Stimulation des dem DLPFC benachbarter Arealen kommen kann. Es sind auch synaptisch auf neuronal vernetzte Areale übergreifende Stimulationseffekte beschrieben (Chib, Yun, Takahashi, & Shimojo, 2013).

Eine weitere Begrenzung unserer Studie ist die unbekannte Stimulationswirkdauer. Es ist nicht komplett auszuschließen, dass die Stimulation einen Effekt auf die Wiedererkennungsphase hat, da Stimulationszeiten über fünf Minuten zu einem längerfristigen Nacheffekt führen (Bindman et al., 1964). So kann eine tDCS über 13 Minuten zu Nacheffekten führen, welche noch 90 Minuten nach der Stimulation nachgewiesen werden können (Nitsche et al., 2002). Jedoch zeigen die instruktionsspezifischen Effekte in unserer Studie eindeutig eine Interaktion zwischen tDCS und Reizenkodierung.

Da in unserer Studie nur visuelle Bilder verwendet werden, sind in weiteren Studien Untersuchungen mit semantischen und verbalen Reizen und deren Beeinflussung durch die tDCS über dem linken DLPFC durchzuführen.

4.3.3 Beeinflussung des Falschgedächtnisses durch die anodale transkranielle Gleichstromstimulation

Die Ergebnisse unserer Studie werfen die Überlegung auf, warum die anodale tDCS über dem linken DLPFC vor allem das Falschgedächtnis und nicht das Korrekte Erinnern oder die Gedächtnisgenauigkeit beeinflusst.

Wie oben erwähnt hat die anodale tDCS in unserer Studie v.a. einen Effekt auf das Falschgedächtnis der TBR- und TBF-Bilder. Das bedeutet, dass es unter anodaler Stimulation höchstwahrscheinlich zu einer Steigerung des Falschgedächtnisses und der Erinnerungsverfälschung kommt.

Wie in Studien gezeigt wurde, wird die Erinnerungsverfälschung v.a. durch Stress und dessen Auswirkung auf den PFC und den Hippocampus ausgelöst (Payne et al., 2002). Die anodale Stimulation führt zu einer verstärkten Entladung der Neurone und kann vermutlich eine Stresssituation simulieren, welche die Entstehung der Erinnerungsverfälschung fördert. Es könnte somit aufgrund von ähnlichen Membranpotentialen eine ähnliche Voraussetzung für die Verarbeitung der Reize gegeben sein. Ebenso vermutet man, dass v.a. die gestörte Funktion des PFC und eine zu schwache Inhibition dieser Areale ausschlaggebend für die Entstehung einer Erinnerungsverfälschung sind (Butler et al., 2004). Auch bei der anodalen tDCS kommt es zur Depolarisation und somit zu einer verminderten Inhibition des PFC. Dadurch kommt es höchstwahrscheinlich zur reduzierten Detaildiskrimination, einer Verstärkung assoziativer Verknüpfungen (Festini & Reuter-Lorenz, 2013) und einer Reizverarbeitung in Hauptwörtern (gM) (Reyna & Brainerd, 1995). Diese Prozesse sind wesentlich an der Entstehung des Falschgedächtnisses beteiligt. Außerdem besteht die Vermutung, dass die anodale Stimulation das Hauptwortgedächtnis (gM) in der Fuzzy Trace Theorie verstärkt und somit das Falschgedächtnis verstärkt. Wahrscheinlich kommt es durch die Verminderung der Filterfunktion zur Verschlechterung des Signalrauschverhältnisses und damit zur unscharfen Einspeicherung der Gedächtnisinhalte. Aufgrund der Verstärkung des Signalrauschverhältnisses kommt es bei unseren stimulierten

Diskussion

Probanden während der Enkodierung möglicherweise zur verminderten Fokussierung auf die wichtigen Details der Gedächtnisinhalte und somit vermehrt zu Falschem Erinnern. Einen Hinweis darauf geben die Ergebnisse von Dockery und Kollegen (2009). Sie schreiben der kathodalen Stimulation eine Funktion als Signalrauschfilter zu, welcher die Entstehung des Falschgedächtnisses vermindern soll, in dem er verstärkt die ungenauen Gedächtnisinhalte herausfiltert (Dockery et al., 2009). Das könnte eines der Erklärungsmodelle für die erhöhte Falsch Alarm-Rate unter Stimulation sein.

Zusätzlich verstärken erregende Reize im Wiedererkennungstest den Effekt der Erinnerungsverfälschung (Corson & Verrier, 2007). Das Thema neuerer DF-Studien betrifft v.a. den Einfluss der Emotionen auf den DF-Effekt (Christianson, Loftus, Hoffman, & Loftus, 1991; Hauswald et al., 2011). Hierbei kam man zu der Erkenntnis, dass emotionale und erregende Stimuli vermehrt zur Falschen Erinnerung führen als neutrale Reize. Bei der Verarbeitung emotional neutraler Bilder kommt es also zu einer akkurateren Enkodierung der Bilder und somit zu einer niedrigeren Falsch Alarm-Rate, was mit der Scheinstimulationsbedingung in unserer Studie vergleichbar wäre. Positive und erregende Bilder hingegen erhöhen die Falsch Alarm-Raten für TBR- und TBF-Bilder. Das wiederum ist der anodalen Stimulationsbedingung ähnlich in welcher es zur gesteigerten Erregung von Neuronen kommt. Die Entstehung der hohen Falsch Alarm-Raten in beiden Studien unterliegt somit möglicherweise einem ähnlichen Prozess. Es besteht somit die Überlegung, ob emotional neutrale Bilder, wie sie in unserer Studie verwendet werden, durch die anodale Stimulation, in gleicher Weise wie wie emotional erregende Bilder verarbeitet werden und es dadurch zu einer gesteigerten Produktion des Falschgedächtnisses kommt. Hauswald et al. (2011) haben bei der Verarbeitung emotionaler Reize mit dem EEG positive Potentiale (ERPs) über dem PFC abgeleitet (Hauswald et al., 2011). Als neurologisches Korrelat kommt es bei der anodalen tDCS zur Depolarisation des Neuronenmembranpotentials (Reyna & Brainerd, 1995). Es könnte somit aufgrund von ähnlichen Membranpotentialen eine ähnliche Voraussetzung für die Verarbeitung der Reize gegeben sein. Insgesamt führen Emotionen zu der Meinung sich besser erinnern zu können. Sie resultieren jedoch in einer

verminderten Genauigkeit und Diskriminationsrate (Talarico & Rubin, 2003). Zusätzlich wird bei emotionalen Bildern eher der zentrale Punkt des Bildes erinnert, während die peripheren Details vermehrt ignoriert werden (Christianson et al., 1991). In unserer Studie ist jedoch gerade die Peripherie der Bilder von großer Wichtigkeit, da es sich um sehr ähnliche Bilderpaare handelt, welche sich v.a. in der Peripherie unterscheiden. Diese Bildgestaltung könnte deshalb zusätzlich für die erhöhte Falsch Alarm-Rate verantwortlich sein.

Es ist schwierig Vergleiche zwischen Studien zu ziehen, da sie oft unterschiedlich analysiert und designt werden. Jedoch lassen sich ähnliche Falsch Alarm-Raten bei PTBS Patienten finden. In einer Studie von Zwissler et al. (2012) wurde das DF mit PTBS betroffenen Probanden geprüft. Auch sie produzierten, im Vergleich zu gesunden Probanden, eine erhöhte Falsch Alarm-Rate bei den TBR-Reizen (Zwissler et al., 2012). Bei PTBS-Patienten ist, wie bei der anodalen Stimulation, die Aktivität im PFC erhöht und somit die Inhibition vermindert (Gilboa et al., 2004). Die erhöhte Produktion des Falschgedächtnisses der TBR-Bilder wurde bei den PTBS Patienten durch die verminderte Inhibition und die dadurch entstehenden Fehlfunktionen im PFC und Hippocampus erklärt (Zwissler et al., 2012). Dadurch soll es aufgrund der Fuzzy Trace Theory, durch Verarbeitung der Reize anhand von Hauptwörtern (gM), zur verminderten Detaildiskrimination kommen (Reyna & Brainerd, 1995). Die Bilder werden also ungenauer enkodiert, präsentiert und gespeichert, wodurch es zu einem fehlerhaften Abruf der Gedächtnisinhalte kommt. Ein Unterschied zwischen diesen beiden Studien ist jedoch, dass bei den PTBS-Patienten auch beim Korrekten Erinnern ein abgeschwächter DF-Effekt vorliegt. Erwähnenswert ist, dass auch in der Stimulationsbedingung die TBF-Bilder am seltensten falsch erinnert werden. Eine Erklärungsmöglichkeit ist, dass sich die vermehrte neuronale Erregung des DLPFC durch die anodale Stimulation und die aktive Inhibierung bei der Weiterverarbeitung der TBF-Bilder aufheben und es somit zu einer genaueren Enkodierung der Gedächtnisinhalte kommt. Die Entstehung des Falschgedächtnisses wird zu einem Großteil dem PFC

zugeschrieben (Kim & Cabeza, 2007), was wiederum den Einfluss der tDCS über dem linken PFC auf das Falschgedächtnis erklären könnte.

Zusammenfassend kommt es durch die anodale Stimulation zur reduzierten Inhibierung des PFC und dadurch zur verstärkten Beeinflussung des Falschgedächtnisses. Durch die anodale tDCS kommt es zu einer verminderten Detaildiskrimination. Die Bilder werden also ungenauer enkodiert, präsentiert und gespeichert, wodurch es zu einem fehlerhaften Abruf der Gedächtnisinhalte kommt. Das Korrekte Erinnern oder die Gedächtnisgenauigkeit hingegen werden nicht durch die anodale tDCS beeinflusst.

4.3.4 Beeinflussung der Enkodierung der aktiv zu merkenden und zu vergessenden Bilder durch die anodale Gleichstromstimulation

Die Analyse unserer Studienergebnisse wirft die Überlegung auf, warum die tDCS vor allem das Falschgedächtnis der TBR- und TBF- Reize, und nicht das der TBI-Reize beeinflusst.

Ein wesentlicher Erklärungsansatz ist die aktive Weiterverarbeitung der „zu merkenden“ TBR- und der „zu vergessenden“ TBF-Reize, im Gegensatz zu den „neutralen“ TBI-Reizen. Die TBR-Reize werden durch ständiges Wiederholen aktiv neuronal enkodiert, während bei den TBF-Reizen die neuronale Weiterverarbeitung und Enkodierung der Gedächtnisinhalte aktiv inhibiert wird (Geiselman & Bagheri, 1985). Es wurde gezeigt, dass die selektive Wiederholung von Gedächtnisinhalten zur Verbesserung der Gedächtniskontrolle und v.a. der Gedächtnisgenauigkeit führt (Zwissler et al., 2011). Die tDCS kann vermutlich nur bei aktiver Enkodierung Einfluss nehmen. Auch Antal et al. (2004) vermuten, dass die Stimulation nur dann kognitive Funktionen beeinflusst wird wenn gleichzeitig aktive Gedächtnisprozesse ablaufen (Antal, Varga, Kincses, Nitsche, & Paulus, 2004). Außerdem verdeutlichen diese Ergebnisse die Bedeutung der Metaplastizität bei der Enkodierung von Gedächtnisinhalten. Metaplastizität beschreibt, dass der gleiche Stimulus je nach vorherigem neuronalem Aktivitätszustand

Diskussion

unterschiedliche neuronale Prozesse bewirken kann. Er kann somit entweder zur Langzeit-Potenzierung oder Langzeit-Depression führen (Abraham & Bear, 1996). Auch die anodale tDCS führt zur Verschiebung des Aktivitätszustandes und somit zu unterschiedlichen Enkodierung- und Abrufbedingungen. Diese metaplastischen Prozesse stellen die Grundvoraussetzung dafür dar, wie ein Reiz verarbeitet und abgerufen wird und beeinflussen somit die Rekonsolidierung. Die Gedächtnisrekonsolidierung beschreibt den Abruf von eingespeicherten, stabilen Gedächtnisinhalten. Dieser Abrufprozess kann je nach Aktivitätszustand zur Instabilität der eingespeicherten Gedächtnispfade führen, wodurch neue Informationspfade hinzugefügt werden können (Finnie & Nader, 2012). Somit kommt es zur Modifizierung der alten Gedächtnisinhalte.

Zusammenfassend tritt der Einfluss der anodalen tDCS auf das Falsche Erinnern in unserer Studie nur in der R- und F- und nicht in der I-Instruktion auf. Unsere Studie erbringt somit einen Beweis für die Aktivitätsabhängigkeit der Gedächtnisleistung im DF-Paradigma, in dem es abhängig von der aktiven Weiterverarbeitung der Reize zur Beeinflussung der akkuraten Enkodierung durch die anodale tDCS über dem DLPFC kommt.

5 Zusammenfassung

In unserer Studie werden die Auswirkungen der anodalen Gleichstromstimulation über dem linken dorsolateralen präfrontalen Cortex auf die Gedächtnisleistung und das Gerichtete Vergessen überprüft. Zur Überprüfung der Gedächtniskontrolle wird in unserer Studie das Paradigma des Gerichteten Vergessens angewandt, welches verdeutlicht, dass Gedächtnisinhalte willentlich vergessen werden können. Den Probanden werden in unserer Studie 90 zu lernende Bilder präsentiert, die darauffolgend mit den Instruktionen „merke (R) oder vergesse (F) das Bild“ versehen sind. Zusätzlich haben wir in unserer Studie eine dritte, möglichst neutrale, Instruktion I mit dem Begriffsinhalt „der vorangegangene Reiz hat keine Bedeutung für dich“ hinzugefügt. In der nachfolgenden Wiedererkennungsphase werden die 90 alten Bilder aus der Lernphase und 90 neue ähnliche Bilder präsentiert. Die älteren Bilder sollen dabei, unabhängig von den Instruktionen, wiedererkannt werden. Insgesamt sind 42 Probanden in die Studienanalyse eingeschlossen von welchen 24 einer anodalen Stimulation mit 1 mA für 15 Minuten und 18 einer Scheinstimulation zugeführt werden. Die anodale Gleichstromstimulation ist eine nicht invasive Technik bei der es zu einer verstärkten Depolarisation in dem stimulierten Gehirnareal kommt.

In unserer Studie werden drei Fragestellungen abgehandelt. Die erste Fragestellung überprüft das Paradigma des Gerichteten Vergessens, welches zeigt, dass Bilder mit der „Instruktion Vergessen“ schlechter erinnert werden können als Bilder mit der „Instruktion Merken“ ($R > F$). Dieses Ergebnis deutet daraufhin, dass die zu merkenden Bilder aktiv wiederholt werden, wohingegen die zu vergessenden Bilder in ihrer neuronalen Weiterverarbeitung und Kodierung aktiv inhibiert werden. Die zweite Fragestellung behandelt die Eingliederung der neuen Instruktion I in das Paradigma des Gerichteten Vergessens. In unserer Studie zeigt sich, dass die Genauigkeit der Gedächtnisleistung für die Instruktion I am niedrigsten ist ($R > F > I$). Erklärungsansätze hierfür sind die ironischen Prozesse, welche beschreiben, dass die aktiv zu verarbeitenden Instruktionen R und F die Aufmerksamkeit auf

Zusammenfassung

diese Bilder erhöhen und somit das zu vergessende Bild, das eigentlich verdrängt und vergessen werden sollte, durch die Alarmierung und ironischen Prozesse eine stärkere Präsenz hat, als das neutrale Bild. Weiterhin werden, im Gegensatz zu den zu vergessenden Bildern, für die zu merkenden sowie für die neutralen Bilder, vermehrt Erinnerungsverfälschungen erzeugt. Das bedeutet, dass die „Instruktion Vergessen“ zur Reduktion des Falschgedächtnisses führt und somit zur genaueren Enkodierung.

Die dritte zentrale Fragestellung beschäftigt sich mit den Auswirkungen der anodalen Gleichstromstimulation über dem linken dorsolateralen präfrontalen Cortex auf die Gedächtnisleistung und das Gerichtete Vergessen. Die anodale Stimulation hat in unserer Studie nur Einfluss auf das Falschgedächtnis. Das Korrekte Erinnern sowie die Gedächtnisgenauigkeit werden hingegen nicht beeinflusst. Die anodale Stimulation führt zur reduzierten Inhibition des PFC und dadurch zu verminderten Detaildiskrimination, wodurch die Gedächtnisinhalte vermehrt falsch erinnert werden. Betrachtet man den Effekt der anodalen tDCS auf das Falschgedächtnis genauer, ergibt sich ein Trend für die Beeinflussung des Falschen Erinnerns für die zu vergessenden und zu erinnernden, jedoch nicht für die neutralen Bilder. Die tDCS nimmt vermutlich Einfluss auf die Enkodierung vor allem der aktiv zu verarbeitenden Reize, was daraufhin hindeutet, dass die erhöhte Aktivierung den präfrontalen Cortex besonders empfindlich für die Beeinflussung der Gedächtnisleistung durch die anodale Gleichstromstimulation macht.

Zusammenfassend erbringt unsere Studie einen Beweis für die Aktivitätsabhängigkeit der Gedächtnisleistung im DF-Paradigma, in dem es abhängig von der aktiven Weiterverarbeitung der Reize zur Beeinflussung der akkuraten Enkodierung durch die anodale tDCS über dem DLPFC kommt. Eine zentrale Erkenntnis unserer Studie ist die Beteiligung des PFC an der Entstehung des Falschgedächtnisses. Das Korrekte Erinnern oder die Gedächtnisgenauigkeit werden im Gegensatz zum Falschgedächtnis nicht durch die anodale tDCS beeinflusst.

6 Literaturverzeichnis

- Abraham, W. C., & Bear, M. F. (1996). Metaplasticity: the plasticity of synaptic plasticity. *Trends Neurosci*, *19*(4), 126-130.
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *J Verbal Learning Verbal Behav*, *22*(3), 261-295.
- Antal, A., Varga, E. T., Kincses, T. Z., Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2004). Oscillatory brain activity and transcranial direct current stimulation in humans. *Neuroreport*, *15*(8), 1307-1310.
- Arnault, D. S., Sakamoto, S., & Moriwaki, A. (2006). Somatic and depressive symptoms in female Japanese and American students: a preliminary investigation. *Transcult Psychiatry*, *43*(2), 275-286. doi: 10.1177/1363461506064867
- Aronson, E., Wilson, T., & Akert, R. M. (2008). *Sozialpsychologie*. München: PEARSON Deutschland GMBH.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, *255*(5044), 556-559.
- Basden, B. H., Basden, D. R., Coe, W. C., Decker, S., & Crutcher, K. (1994). Retrieval inhibition in directed forgetting and posthypnotic amnesia. *Int J Clin Exp Hypn*, *42*(3), 184-203. doi: 10.1080/00207149408409351
- Basden, B. H., Basden, D. R., & Morales, E. (2003). The role of retrieval practice in directed forgetting. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *29*(3), 389-397.
- Bastin, C., Feyers, D., Majerus, S., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., . . . Collette, F. (2012). The neural substrates of memory suppression: a fMRI exploration of directed forgetting. *PLoS One*, *7*(1), e29905. doi: 10.1371/journal.pone.0029905
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Anderson, S. W. (1998). Dissociation of working memory from decision making within the human prefrontal cortex. *J Neurosci*, *18*(1), 428-437.
- Bikson, M., Inoue, M., Akiyama, H., Deans, J. K., Fox, J. E., Miyakawa, H., & Jefferys, J. G. R. (2004). Effects of uniform extracellular DC electric fields on excitability in rat hippocampal slices in vitro. *J Physiol*, *557*(1), 175-190.
- Bindman, L. J., Lippold, O. C., & Redfearn, J. W. (1964). The Action of brief polarizing currents on the cerebral Cortex of the rat (1) during current flow and(2) in the Production of long-lasting after-effects. *J Physiol*, *172*, 369-382.
- Boggio, P. S., Ferrucci, R., Rigonatti, S. P., Covre, P., Nitsche, M., Pascual-Leone, A., & Fregni, F. (2006). Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Sci*, *249*(1), 31-38. doi: 10.1016/j.jns.2006.05.062
- Boggio, P. S., Fregni, F., Valasek, C., Ellwood, S., Chi, R., Gallate, J., . . . Snyder, A. (2009). Temporal lobe cortical electrical stimulation during the encoding and retrieval phase reduces false memories. *PLoS One*, *4*(3), e4959. doi: 10.1371/journal.pone.0004959
- Boggio, P. S., Rigonatti, S. P., Ribeiro, R. B., Myczkowski, M. L., Nitsche, M. A., Pascual-Leone, A., & Fregni, F. (2008). A randomized, double-blind

- clinical trial on the efficacy of cortical direct current stimulation for the treatment of major depression. *Int J Neuropsychopharmacol*, 11(2), 249-254. doi: 10.1017/s1461145707007833
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychol Rev*, 108(3), 624.
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2002). Fuzzy-Trace Theory and False Memory. *Curr Dir Psychol Sci*, 11(5), 164-169. doi: 10.1111/1467-8721.00192
- Brickenkamp, R. (1994). *Test d2 - Aufmerksamkeits-Belastungs-Test*. Göttingen: Hogrefe
- Brown, A. S. (1991). A review of the tip-of-the-tongue experience. *Psychol Bull*, 109(2), 204-223.
- Budson, A. E., Dodson, C. S., Vatner, J. M., Daffner, K. R., Black, P. M., & Schacter, D. L. (2005). Metacognition and false recognition in patients with frontal lobe lesions: the distinctiveness heuristic. *Neuropsychologia*, 43(6), 860-871.
- Butler, K. M., McDaniel, M. A., Dornburg, C. C., Price, A. L., & Roediger, H. L., 3rd. (2004). Age differences in veridical and false recall are not inevitable: the role of frontal lobe function. *Psychon Bull Rev*, 11(5), 921-925.
- Chib, V. S., Yun, K., Takahashi, H., & Shimojo, S. (2013). Noninvasive remote activation of the ventral midbrain by transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex. *Transl Psychiatry*, 3, e268. doi: 10.1038/tp.2013.44
- Christianson, S. A., Loftus, E. F., Hoffman, H., & Loftus, G. R. (1991). Eye fixations and memory for emotional events. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 17(4), 693-701.
- Cohen, J. D., Servan-Schreiber, D., & McClelland, J. L. (1992). A parallel distributed processing approach to automaticity. *Am J Psychol*, 105(2), 239-269.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychol Rev*, 82(6), 407.
- Cordon, I. M., Melinder, A. M., Goodman, G. S., & Edelstein, R. S. (2012). Children's and adults' memory for emotional pictures: Examining age-related patterns using the Developmental Affective Photo System. *J Exp Child Psychol*, 114(2), 339-356. doi: 10.1016/j.jecp.2012.08.004
- Corson, Y., & Verrier, N. (2007). Emotions and false memories: valence or arousal? *Psychol Sci*, 18(3), 208-211. doi: 10.1111/j.1467-9280.2007.01874.x
- Creutzfeldt, O. D., Fromm, G. H., & Kapp, H. (1962). Influence of transcortical d-c currents on cortical neuronal activity. *Exp Neurol*, 5, 436-452.
- Dockery, C. A., Hueckel-Weng, R., Birbaumer, N., & Plewnia, C. (2009). Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. *J Neurosci*, 29(22), 7271-7277. doi: 10.1523/jneurosci.0065-09.2009
- Earles, J. L., & Kersten, A. W. (2002). Directed forgetting of actions by younger and older adults. *Psychon Bull Rev*, 9(2), 383-388.
- Echterhoff, G., & Wolf, O. T. (2012). The stressed eyewitness: the interaction of thematic arousal and post-event stress in memory for central and

- peripheral event information. *Front Integr Neurosci*, 6, 57. doi: 10.3389/fnint.2012.00057
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2005). Different underlying impairments in decision-making following ventromedial and dorsolateral frontal lobe damage in humans. *Cereb Cortex*, 15(1), 58-63.
- Festini, S. B., & Reuter-Lorenz, P. A. (2013). The short- and long-term consequences of directed forgetting in a working memory task. *Memory*, 21(7), 763-777. doi: 10.1080/09658211.2012.754900
- Finnie, P. S., & Nader, K. (2012). The role of metaplasticity mechanisms in regulating memory destabilization and reconsolidation. *Neurosci Biobehav Rev*, 36(7), 1667-1707. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.03.008
- Fiori, V., Coccia, M., Marinelli, C. V., Vecchi, V., Bonifazi, S., Ceravolo, M. G., . . . Marangolo, P. (2011). Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects. *J Cogn Neurosci*, 9, 2309-2323.
- Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M., Berman, F., Antal, A., Feredoes, E., . . . Pascual-Leone, A. (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Exp Brain Res*, 166(1), 23-30. doi: 10.1007/s00221-005-2334-6
- Fregni, F., Gimenes, R., Valle, A., Ferreira, M. J. L., Rocha, R. R., Natalle, L., . . . Nitsche, M. A. (2006). A randomized, sham-controlled, proof of principle study of transcranial direct current stimulation for the treatment of pain in fibromyalgia. *Arthritis Rheum*, 54(12), 3988-3998.
- Funahashi, S. (2006). Prefrontal cortex and working memory processes. *Neuroscience*, 139(1), 251-261.
- Gallo, D. A. (2010). False memories and fantastic beliefs: 15 years of the DRM illusion. *Mem Cognit*, 38(7), 833-848. doi: 10.3758/mc.38.7.833
- Gallo, D. A., McDermott, K. B., Percer, J. M., & Roediger, H. L., 3rd. (2001). Modality effects in false recall and false recognition. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 27(2), 339-353.
- Gandiga, P. C., Hummel, F. C., & Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clin Neurophysiol*, 117(4), 845-850. doi: 10.1016/j.clinph.2005.12.003
- Garoff-Eaton, R. J., Slotnick, S. D., & Schacter, D. L. (2006). Not all false memories are created equal: the neural basis of false recognition. *Cereb Cortex*, 16(11), 1645-1652. doi: 10.1093/cercor/bhj101
- Geiselman, R. E., & Bagheri, B. (1985). Repetition effects in directed forgetting: evidence for retrieval inhibition. *Mem Cognit*, 13(1), 57-62.
- Gilboa, A., Shalev, A. Y., Laor, L., Lester, H., Louzoun, Y., Chisin, R., & Bonne, O. (2004). Functional connectivity of the prefrontal cortex and the amygdala in posttraumatic stress disorder. *Biol Psychiatry*, 55(3), 263-272.
- Gladwin, T. E., den Uyl, T. E., Fregni, F. F., & Wiers, R. W. (2012). Enhancement of selective attention by tDCS: interaction with interference in a Sternberg task. *Neurosci Lett*, 512(1), 33-37. doi: 10.1016/j.neulet.2012.01.056

- Goldman-Rakic, P. S. (1992). Working memory and the mind. *Sci Am*, 267(3), 110-117.
- Gonsalves, B., Reber, P. J., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Mesulam, M. M., & Paller, K. A. (2004). Neural evidence that vivid imagining can lead to false remembering. *Psychol Sci*, 15(10), 655-660. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00736.x
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics* (Vol. 1). New York: Wiley
- Hanslmayr, S., Volberg, G., Wimber, M., Oehler, N., Staudigl, T., Hartmann, T., . . . Bauml, K. H. (2012). Prefrontally driven downregulation of neural synchrony mediates goal-directed forgetting. *J Neurosci*, 32(42), 14742-14751. doi: 10.1523/jneurosci.1777-12.2012
- Hauswald, A., & Kissler, J. (2008). Directed forgetting of complex pictures in an item method paradigm. *Memory*, 16(8), 797-809. doi: 10.1080/09658210802169087
- Hauswald, A., Schulz, H., Iordanov, T., & Kissler, J. (2011). ERP dynamics underlying successful directed forgetting of neutral but not negative pictures. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 6(4), 450-459. doi: 10.1093/scan/nsq061
- Hautzinger, M., Keller, F., & Kühner, C. (2006). *BDI-II. Beck-Depressions-Inventar Revision-Manual*. Frankfurt: Harcourt Test Services.
- Hourihan, K. L., & Taylor, T. L. (2006). Cease remembering: control processes in directed forgetting. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 32(6), 1354-1365. doi: 10.1037/0096-1523.32.6.1354
- Iwata, N., & Higuchi, H. R. (2000). Responses of Japanese and American university students to the STAI items that assess the presence or absence of anxiety. *J Pers Assess*, 74(1), 48-62. doi: 10.1207/s15327752jpa740104
- Iyer, M. B., Mattu, U., Grafman, J., Lomarev, M., Sato, S., & Wassermann, E. M. (2005). Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals. *Neurology*, 64(5), 872-875.
- Jeon, S. Y., & Han, S. J. (2012). Improvement of the working memory and naming by transcranial direct current stimulation. *Ann Rehabil Med*, 36(5), 585-595. doi: 10.5535/arm.2012.36.5.585
- Jo, J. M., Kim, Y. H., Ko, M. H., Ohn, S. H., Joen, B., & Lee, K. H. (2009). Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *Am J Phys Med Rehabil*, 88(5), 404-409. doi: 10.1097/PHM.0b013e3181a0e4cb
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, 363(6430), 623-625. doi: 10.1038/363623a0
- Karnath, H. O., & Thier, P. (2006). *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Keeser, D., Meindl, T., Bor, J., Palm, U., Pogarell, O., Mulert, C., . . . Padberg, F. (2011). Prefrontal transcranial direct current stimulation changes connectivity of resting-state networks during fMRI. *J Neurosci*, 31(43), 15284-15293. doi: 10.1523/jneurosci.0542-11.2011

- Kim, H., & Cabeza, R. (2007). Differential contributions of prefrontal, medial temporal, and sensory-perceptual regions to true and false memory formation. *Cereb Cortex*, *17*(9), 2143-2150. doi: 10.1093/cercor/bhl122
- Kimball, D. R., & Bjork, R. A. (2002). Influences of intentional and unintentional forgetting on false memories. *J Exp Psychol Gen*, *131*(1), 116-130.
- Kostopoulos, P., & Petrides, M. (2008). Left mid-ventrolateral prefrontal cortex: underlying principles of function. *Eur J Neurosci*, *27*(4), 1037-1049. doi: 10.1111/j.1460-9568.2008.06066.x
- Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Findling, R. L., Yamamoto, K., & Calabrese, J. R. (2006). Prefrontal hemodynamic activity predicts false memory--a near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*, *31*(4), 1783-1789. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.02.003
- Lee, Y. S., Lee, H. M., & Tsai, S. H. (2007). Effects of post-cue interval on intentional forgetting. *Br J Psychol*, *98*(Pt 2), 257-272. doi: 10.1348/000712606x120410
- MacLeod, C. M. (1999). The item and list methods of directed forgetting: test differences and the role of demand characteristics. *Psychon Bull Rev*, *6*(1), 123-129.
- Marche, T. A., Brainerd, C. J., Lane, D. G., & Loehr, J. D. (2005). Item method directed forgetting diminishes false memory. *Memory*, *13*(7), 749-758.
- Matsumoto, K., & Tanaka, K. (2004). The role of the medial prefrontal cortex in achieving goals. *Curr Opin Neurobiol*, *14*(2), 178-185. doi: 10.1016/j.conb.2004.03.005
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychol Rev*, *88*(5), 375 – 407
- McDermott, K. B., Jones, T. C., Petersen, S. E., Lageman, S. K., & Roediger, H. L., 3rd. (2000). Retrieval success is accompanied by enhanced activation in anterior prefrontal cortex during recognition memory: an event-related fMRI study. *J Cogn Neurosci*, *12*(6), 965-976.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci*, *24*, 167-202. doi: 10.1146/annurev.neuro.24.1.167
- Moliadze, V., Antal, A., & Paulus, W. (2010). Electrode-distance dependent after-effects of transcranial direct and random noise stimulation with extracephalic reference electrodes. *Clin Neurophysiol*, *121*(12), 2165-2171. doi: 10.1016/j.clinph.2010.04.033
- Nelson, S. M., McDermott, K. B., Wig, G. S., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2013). The Critical Roles of Localization and Physiology for Understanding Parietal Contributions to Memory Retrieval. *Neuroscientist*, *19*(6), 578-591. doi: 10.1177/1073858413492389
- Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Lang, N., Antal, A., Tergau, F., & Paulus, W. (2003). Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. *Clin Neurophysiol*, *114*(11), 2220-2222.
- Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Tergau, F., & Paulus, W. (2002). Modulation of cortical excitability by transcranial direct current stimulation. *Nervenarzt*, *73*(4), 332-335.

- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*, *527 Pt 3*, 633-639.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113.
- Oliveira, J. F., Zanao, T. A., Valiengo, L., Lotufo, P. A., Bensenor, I. M., Fregni, F., & Brunoni, A. R. (2013). Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. *Neurosci Lett*, *537*, 60-64. doi: 10.1016/j.neulet.2013.01.023
- Owen, A. M., Downes, J. J., Sahakian, B. J., Polkey, C. E., & Robbins, T. W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, *28*(10), 1021-1034.
- Parent, A. (2004). Giovanni Aldini: from animal electricity to human brain stimulation. *Can J Neurol Sci.*, *31*(4), 576-584.
- Parkin, A. J., Bindschaedler, C., Harsent, L., & Metzler, C. (1996). Pathological False Alarm Rates Following Damage to the Left Frontal Cortex. *Brain Cogn*, *32*(1), 14-27.
- Paulus, W. (2004). Outlasting excitability shifts induced by direct current stimulation of the human brain. *Suppl Clin Neurophysiol*, *57*, 708-714.
- Payne, J. D., Nadel, L., Allen, J. J., Thomas, K. G., & Jacobs, W. J. (2002). The effects of experimentally induced stress on false recognition. *Memory*, *10*(1), 1-6. doi: 10.1080/09658210143000119
- Paz-Caballero, M. D., Menor, J., & Jimenez, J. M. (2004). Predictive validity of event-related potentials (ERPs) in relation to the directed forgetting effects. *Clin Neurophysiol*, *115*(2), 369-377.
- Penolazzi, B., Di Domenico, A., Marzoli, D., Mammarella, N., Fairfield, B., Franciotti, R., . . . Tommasi, L. (2010). Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on episodic memory related to emotional visual stimuli. *PLoS One*, *5*(5), e10623. doi: 10.1371/journal.pone.0010623
- Priori, A., Berardelli, A., Rona, S., Accornero, N., & Manfredi, M. (1998). Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport*, *9*(10), 2257-2260.
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (1995). Fuzzy-trace theory: An interim synthesis. *Elsevier Learning and Individual Differences*, *7*(1), 1-75.
- Rizio, A. A., & Dennis, N. A. (2013). The neural correlates of cognitive control: successful remembering and intentional forgetting. *J Cogn Neurosci*, *25*(2), 297-312. doi: 10.1162/jocn_a_00310
- Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, *21*(4), 803.
- Rushworth, M. F., Nixon, P. D., Eacott, M. J., & Passingham, R. E. (1997). Ventral prefrontal cortex is not essential for working memory. *J Neurosci*, *17*(12), 4829-4838.
- Schacter, D. L., & Loftus, E. F. (2013). Memory and law: what can cognitive neuroscience contribute? *Nat Neurosci*, *16*(2), 119-123. doi: 10.1038/nn.3294
- Seamon, J. G., Luo, C. R., Shulman, E. P., Toner, S. K., & Caglar, S. (2002). False memories are hard to inhibit: differential effects of directed

- forgetting on accurate and false recall in the DRM procedure. *Memory*, 10(4), 225-237. doi: 10.1080/09658210143000344
- Shiozawa, P., Fregni, F., Bensenor, I. M., Lotufo, P. A., Berlim, M. T., Daskalakis, J. Z., . . . Brunoni, A. R. (2014). Transcranial direct current stimulation for major depression: an updated systematic review and meta-analysis. *Int J Neuropsychopharmacol*, 17(9), 1443-1452. doi: 10.1017/s1461145714000418
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: applications to dementia and amnesia. *J Exp Psychol Gen*, 117(1), 34-50.
- Sparing, R., Dafotakis, M., Meister, I. G., Thirugnanasambandam, N., & Fink, G. R. (2008). Enhancing language performance with non-invasive brain stimulation--a transcranial direct current stimulation study in healthy humans. *Neuropsychologia*, 46(1), 261-268. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.07.009
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., & Lushene, R. E. (1970). *STAI manual for the state-trait anxiety inventory ("Self-evaluation questionnaire")*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Talarico, J. M., & Rubin, D. C. (2003). Confidence, not consistency, characterizes flashbulb memories. *Psychol Sci*, 14(5), 455-461.
- Vanderhasselt, M. A., De Raedt, R., Brunoni, A. R., Campanha, C., Baeken, C., Remue, J., & Boggio, P. S. (2013). tDCS over the Left Prefrontal Cortex Enhances Cognitive Control for Positive Affective Stimuli. *PLoS One*, 8(5), e62219. doi: 10.1371/journal.pone.0062219
- Wade, K. A., Garry, M., Nash, R. A., & Harper, D. N. (2010). Anchoring effects in the development of false childhood memories. *Psychon Bull Rev*, 17(1), 66-72. doi: 10.3758/pbr.17.1.66
- Wassermann, E. M., & Grafman, J. (2005). Recharging cognition with DC brain polarization. *Trends Cogn Sci*, 9(11), 503-505. doi: 10.1016/j.tics.2005.09.001
- Wegner, D. M. (1994). Ironic processes of mental control. *Psychol Rev*, 101(1), 34-52.
- Weiner, B., & Reed, H. (1969). Effects of the instructional sets to remember and to forget on short-term retention: Studies of rehearsal control and retrieval inhibition(repression). *J Exp Psychol*, 79(2, Pt.1), 226-232.
- Wilhelms, E. A., & Reyna, V. F. (2013). Fuzzy Trace Theory and Medical Decisions by Minors: Differences in Reasoning between Adolescents and Adults. *J Med Philos*, 38(3), 268-282. doi: 10.1093/jmp/jht018
- Williams, L. M., Gatt, J. M., Grieve, S. M., Dobson-Stone, C., Paul, R. H., Gordon, E., & Schofield, P. R. (2010). COMT Val(108/158)Met polymorphism effects on emotional brain function and negativity bias. *Neuroimage*, 53(3), 918-925. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.01.084
- Wolkenstein, L., & Plewnia, C. (2013). Amelioration of cognitive control in depression by transcranial direct current stimulation. *Biol Psychiatry*, 73(7), 646-651. doi: 10.1016/j.biopsych.2012.10.010
- Wylie, G. R., Foxe, J. J., & Taylor, T. L. (2008). Forgetting as an active process: an fMRI investigation of item-method-directed forgetting. *Cereb Cortex*, 18(3), 670-682. doi: 10.1093/cercor/bhm101

Literaturverzeichnis

- Zhu, B., Chen, C., Loftus, E. F., Lin, C., He, Q., Chen, C., . . . Dong, Q. (2010). Individual differences in false memory from misinformation: cognitive factors. *Memory*, 18(5), 543-555. doi: 10.1080/09658211.2010.487051
- Zwissler, B. (2011). *The impact of stress and emotion on item-method directed forgetting*. (Dissertation), Universität Konstanz Retrieved from <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-175118>
- Zwissler, B., Hauswald, A., Koessler, S., Ertl, V., Pfeiffer, A., Wohrmann, C., . . . Kissler, J. (2012). Memory control in post-traumatic stress disorder: evidence from item method directed forgetting in civil war victims in Northern Uganda. *Psychol Med*, 42(6), 1283-1291. doi: 10.1017/s0033291711002273
- Zwissler, B., Koessler, S., Engler, H., Schedlowski, M., & Kissler, J. (2011). Acute psycho-social stress does not disrupt item-method directed forgetting, emotional stimulus content does. *Neurobiol Learn Mem*, 95(3), 346-354. doi: 10.1016/j.nlm.2011.01.007
- Zwissler, B., Schindler, S., Fischer, H., Plewnia, C., & Kissler, J. (submitted). Forget me (not)- Ironic effects of item-method directed forgetting *Cognition*.
- Zwissler, B., Sperber, C., Aigeldinger, S., Schindler, S., Kissler, J., & Plewnia, C. (2014). Shaping memory accuracy by left prefrontal transcranial direct current stimulation. *J Neurosci*, 34(11), 4022-4026. doi: 10.1523/jneurosci.5407-13.2014

7 Veröffentlichung

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in den folgenden Publikationen veröffentlicht:

Zwissler, B., Sperber, C., Aigeldinger, S., Schindler, S., Kissler, J., & Plewnia, C. (2014). Shaping memory accuracy by left prefrontal transcranial direct current stimulation. *J Neurosci*, *34*(11), 4022-4026. doi: 10.1523/jneurosci.5407-13.2014

8 Eigenanteil

Literaturrecherche, Datenerhebung, Datenauswertung, Ergebnisdiskussion, Erstellen des Manuskripts und Beweisführung wurden vollständig von mir (Sina Aigeldinger) durchgeführt. Hiermit bestätige ich, dass ich die Dissertation komplett selbstständig verfasst habe. Zusätzlich war ich an Verfassung der Veröffentlichung "Shaping memory accuracy by left prefrontal transcranial direct current stimulation" beteiligt.

Herr Prof. Dr. C. Plewnia war an der Konzeption der Studie beteiligt, er hat die Arbeit betreut, das Manuskript korrigiert und einen Teil der Veröffentlichung verfasst.

Dr. B. Zwissler war an der Konzeption der Studie beteiligt. Er hat die Arbeit betreut und einen großen Teil der Veröffentlichung verfasst.

9 Danksagung

Ich möchte mich bedanken,...

Bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Plewnia für die Ermöglichung, Förderung und Unterstützung meiner Doktorarbeit. Vielen Dank für Ihr Engagement.

Bei Bastian Zwissler für die gute Betreuung. Ich danke dir für deine Geduld, dein Engagement, die guten Gespräche und dein Vertrauen in mich.

Bei der ganzen Arbeitsgruppe für die gute Zusammenarbeit und die kollegiale Atmosphäre.

Bei meinen liebsten Freunden für eure Geduld und eure Unterstützung. Vor allem für euer immer offenes Ohr und eure aufmunternden Worte.

Bei Darrell für dein Verständnis und deine unendliche Geduld. Danke, dass du mir immer zur Seite gestanden bist und immer die richtigen Worte gefunden hast.

Bei meiner Familie für eure liebevolle Unterstützung und euer tiefes Vertrauen in mich. Ohne euch hätte ich diesen steinigen Weg nicht geschafft. Ich will Danke sagen, dass ihr mir immer zur Seite gestanden und mit mir durch Höhen- und Tiefen gegangen seid. Danke, dass ihr mir so vieles ermöglicht habt.

10 Anlagen

10.1 Edinburgh-Händigkeitstfragebogen

Edinburgh-Händigkeitstfragebogen (nach Oldfield, R.C. (1971). Neuropsychologia, 9, 112)

Bitte geben Sie ihre Handpräferenz bei der Ausübung folgender Tätigkeiten an, indem Sie in der entsprechenden Spalte ein + schreiben. Bitte markieren Sie ++, wenn Ihre Präferenz so stark ist, daß Sie nie versuchen würden, die andere Hand zu benutzen, es sei denn Sie würden dazu gezwungen werden. Wenn Sie einmal wirklich nicht wissen, welche Hand Sie benutzen, schreiben Sie dann ein + in beide Spalten.

Einige der aufgeführten Aktivitäten erfordern den Gebrauch beider Hände. In diesen Fällen ist in Klammern der Teil der Aufgabe oder das Objekt angegeben, für das die Handpräferenz erfragt wird.

Bitte versuchen Sie alle Fragen zu beantworten. Lassen Sie nur die Fragen offen, bei denen Sie keinerlei Erfahrung haben.

	TÄTIGKEITEN	Links	Rechts
1.	Schreiben		
2.	Zeichnen		
3.	Werfen		
4.	Schere		
5.	Zahnbürste		
6.	Messer (ohne Gabel)		
7.	Löffel		
8.	Besen (obere Hand)		
9.	Streichholz anzünden		
10.	Kiste öffnen (Deckel)		
I.	Mit welchem Fuß treten Sie (z.B. einen Ball) bevorzugt?		
II.	Wenn Sie nur ein Auge benutzen, welches bevorzugen Sie?		

Auswertung:

$$\text{Händigkeitstquotient (HQ)} = \left[\frac{\text{Summe R} - \text{Summe L}}{\text{Summe R} + \text{Summe L}} \right] * 100 =$$

10.2 State-Trait-Angstinventar

Fragebogen zur Selbstbeschreibung

STAI-G Form X 1

Name _____ Mädchenname _____
 Vorname _____ Geburtsdatum _____ Alter _____ Jahre
 Beruf _____ Geschlecht m/w
 Datum _____ Institution _____
 Uhrzeit _____

Anleitung: Im folgenden Fragebogen finden Sie eine Reihe von Feststellungen, mit denen man sich selbst beschreiben kann. Bitte lesen Sie jede Feststellung durch und wählen Sie aus den vier Antworten diejenige aus, die angibt, wie Sie sich jetzt , d. h. in diesem Moment , fühlen. Kreuzen Sie bitte bei jeder Feststellung die Zahl unter der von Ihnen gewählten Antwort an. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Überlegen Sie bitte nicht lange und denken Sie daran, diejenige Antwort auszuwählen, die Ihren augenblicklichen Gefühlszustand am besten beschreibt.				
	ÜBERHAUPT NICHT	EIN WENIG	ZIEMLICH	SEHR
1. Ich bin ruhig				
2. Ich fühle mich geborgen				
3. Ich fühle mich angespannt				
4. Ich bin bekümmert				
5. Ich bin gelöst				
6. Ich bin aufgeregt				
7. Ich bin besorgt, daß etwas schiefgehen könnte				
8. Ich fühle mich ausgeruht				
9. Ich bin beunruhigt				
10. Ich fühle mich wohl				
11. Ich fühle mich selbstsicher				
12. Ich bin nervös				
13. Ich bin zappelig				
14. Ich bin verkrampft				
15. Ich bin entspannt				
16. Ich bin zufrieden				
17. Ich bin besorgt				
18. Ich bin überreizt				
19. Ich bin froh				
20. Ich bin vergnügt				

Anlagen

Fragebogen zur Selbstbeschreibung

STAI-G Form X 2

Name _____ Mädchenname _____
 Vorname _____ Geburtsdatum _____ Alter _____ Jahre
 Beruf _____ Geschlecht m/w
 Datum _____ Institution _____
 Uhrzeit _____

Anleitung: Im folgenden Fragebogen finden Sie eine Reihe von Feststellungen, mit denen man sich selbst beschreiben kann. Bitte lesen Sie jede Feststellung durch und wählen Sie aus den vier Antworten diejenige aus, die angibt, wie Sie sich im allgemeinen fühlen. Kreuzen Sie bitte bei jeder Feststellung die Zahl unter der von Ihnen gewählten Antwort an. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten. Überlegen Sie bitte nicht lange und denken Sie daran, diejenige Antwort auszuwählen, die am besten beschreibt, wie Sie sich im allgemeinen fühlen.				
	FAST NIE	MANCHMAL	OFT	FAST IMMER
21. Ich bin vergnügt				
22. Ich werde schnell müde				
23. Mir ist zum Weinen zumute				
24. Ich glaube, mir geht es schlechter als anderen Leuten				
25. Ich verpasse günstige Gelegenheiten, weil ich mich nicht schnell genug entscheiden kann				
26. Ich fühle mich ausgeruht				
27. Ich bin ruhig und gelassen				
28. Ich glaube, daß mir meine Schwierigkeiten über den Kopf wachsen				
29. Ich mache mir zuviel Gedanken über unwichtige Dinge				
30. Ich bin glücklich				
31. Ich neige dazu, alles schwer zu nehmen				
32. Mir fehlt es an Selbstvertrauen				
33. Ich fühle mich geborgen				
34. Ich mache mir Sorgen über mögliches Mißgeschick				
35. Ich fühle mich niedergeschlagen				
36. Ich bin zufrieden				
37. Unwichtige Gedanken gehen mir durch den Kopf und bedrücken mich				
38. Enttäuschungen nehme ich so schwer, daß ich sie nicht vergessen kann				
39. Ich bin ausgeglichen				
40. Ich werde nervös und unruhig, wenn ich an meine derzeitigen Angelegenheiten denke				

Anlagen

10.3 Beck-Depressions-Inventar

Geschlecht: _____
Geburtsdatum: _____ Ausfülldatum: _____

Dieser Fragebogen enthält 21 Gruppen von Aussagen. Bitte lesen Sie jede Gruppe sorgfältig durch. Suchen Sie dann die eine Aussage in jeder Gruppe heraus, die am besten beschreibt, wie Sie sich in dieser Woche einschließlich heute gefühlt haben und kreuzen Sie die dazugehörige Ziffer (0, 1, 2 oder 3) an. Falls mehrere Aussagen einer Gruppe gleichermaßen zutreffen, können Sie auch mehrere Ziffern markieren. Lesen Sie auf jeden Fall alle Aussagen in jeder Gruppe, bevor Sie Ihre Wahl treffen.

- A**
- Ich bin nicht traurig.
 - 1 Ich bin traurig.
 - 2 Ich bin die ganze Zeit traurig und komme nicht davon los.
 - 3 Ich bin so traurig oder unglücklich, daß ich es kaum noch ertrage.
- B**
- Ich sehe nicht besonders mutlos in die Zukunft.
 - 1 Ich sehe mutlos in die Zukunft.
 - 2 Ich habe nichts, worauf ich mich freuen kann.
 - 3 Ich habe das Gefühl, daß die Zukunft hoffnungslos ist, und daß die Situation nicht besser werden kann.
- C**
- Ich fühle mich nicht als Versager.
 - 1 Ich habe das Gefühl, öfter versagt zu haben als der Durchschnitt.
 - 2 Wenn ich auf mein Leben zurückblicke, sehe ich bloß eine Menge Fehlschläge.
 - 3 Ich habe das Gefühl, als Mensch ein völliger Versager zu sein.
- D**
- 0 Ich kann die Dinge genauso genießen wie früher.
 - Ich kann die Dinge nicht mehr so genießen wie früher.
 - 2 Ich kann aus nichts mehr eine echte Befriedigung ziehen.
 - 3 Ich bin mit allem unzufrieden oder gelangweilt.
- E**
- Ich habe keine Schuldgefühle.
 - 1 Ich habe häufig Schuldgefühle.
 - 2 Ich habe fast immer Schuldgefühle.
 - 3 Ich habe immer Schuldgefühle.
- F**
- Ich habe nicht das Gefühl, gestraft zu sein.
 - 1 Ich habe das Gefühl, vielleicht bestraft zu werden.
 - 2 Ich erwarte, bestraft zu werden.
 - 3 Ich habe das Gefühl, bestraft zu sein.
- G**
- Ich bin nicht von mir enttäuscht.
 - 1 Ich bin von mir enttäuscht.
 - 2 Ich finde mich fürchterlich.
 - 3 Ich hasse mich.
- H**
- 0 Ich habe nicht das Gefühl, schlechter zu sein als alle anderen.
 - Ich kritisiere mich wegen meiner Fehler und Schwächen.
 - 2 Ich mache mir die ganze Zeit Vorwürfe wegen meiner Mängel.
 - 3 Ich gebe mir für alles die Schuld, was schiefgeht.
- I**
- Ich denke nicht daran, mir etwas anzutun.
 - 1 Ich denke manchmal an Selbstmord, aber ich würde es nicht tun.
 - 2 Ich möchte mich am liebsten umbringen.
 - 3 Ich würde mich umbringen, wenn ich die Gelegenheit hätte.
- J**
- 0 Ich weine nicht öfter als früher.
 - Ich weine jetzt mehr als früher.
 - 2 Ich weine jetzt die ganze Zeit.
 - 3 Früher konnte ich weinen, aber jetzt kann ich es nicht mehr, obwohl ich es möchte.

_____ Subtotal Seite 1

The Psychological Corporation Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
Copyright © 1978 by Aron T. Beck. All rights reserved.
Deutsche Ausgabe 1993 bei Verlag Hans Huber, Bern.
Das Fotokopieren und Nachdrucken dieses Fragebogens ist nicht erlaubt!

Best.-Nr.: 03-05 603

Fortsetzung auf der Rückseite

Anlagen

- K**
- Ich bin nicht reizbarer als sonst.
- 1 Ich bin jetzt leichter verärgert oder gereizt als früher.
 - 2 Ich fühle mich dauernd gereizt.
 - 3 Die Dinge, die mich früher geärgert haben, berühren mich nicht mehr.
- L**
- Ich habe nicht das Interesse an Menschen verloren.
- 1 Ich interessiere mich jetzt weniger für Menschen als früher.
 - 2 Ich habe mein Interesse an anderen Menschen zum größten Teil verloren.
 - 3 Ich habe mein ganzes Interesse an anderen Menschen verloren.
- M**
- Ich bin so entschlußfreudig wie immer.
- 1 Ich schiebe Entscheidungen jetzt öfter als früher auf.
 - 2 Es fällt mir jetzt schwerer als früher, Entscheidungen zu treffen.
 - 3 Ich kann überhaupt keine Entscheidungen mehr treffen.
- N**
- Ich habe nicht das Gefühl, schlechter auszusehen als früher.
- 1 Ich mache mir Sorgen, daß ich alt oder unattraktiv aussehe.
 - 2 Ich habe das Gefühl, daß Veränderungen in meinem Aussehen eintreten, die mich häßlich machen.
 - 3 Ich finde mich häßlich.
- O**
- Ich kann so gut arbeiten wie früher.
- 1 Ich muß mir einen Ruck geben, bevor ich eine Tätigkeit in Angriff nehme.
 - 2 Ich muß mich zu jeder Tätigkeit zwingen.
 - 3 Ich bin unfähig zu arbeiten.
- P**
- Ich schlafe so gut wie sonst.
- 1 Ich schlafe nicht mehr so gut wie früher.
 - 2 Ich wache 1 bis 2 Stunden früher auf als sonst, und es fällt mir schwer, wieder einzuschlafen.
 - 3 Ich wache mehrere Stunden früher auf als sonst und kann nicht mehr einschlafen.

- Q**
- Ich ermüde nicht stärker als sonst.
- 1 Ich ermüde schneller als früher.
 - 2 Fast alles ermüdet mich.
 - 3 Ich bin zu müde, um etwas zu tun.
- R**
- Mein Appetit ist nicht schlechter als sonst.
- 1 Mein Appetit ist nicht mehr so gut wie früher.
 - 2 Mein Appetit hat sehr stark nachgelassen.
 - 3 Ich habe überhaupt keinen Appetit mehr.
- S**
- Ich habe in letzter Zeit kaum abgenommen.
- 1 Ich habe mehr als 2 Kilo abgenommen.
 - 2 Ich habe mehr als 5 Kilo abgenommen.
 - 3 Ich habe mehr als 8 Kilo abgenommen.
- Ich esse absichtlich weniger, um abzunehmen:
- JA NEIN
- T**
- Ich mache mir keine größeren Sorgen um meine Gesundheit als sonst.
- 1 Ich mache mir Sorgen über körperliche Probleme, wie Schmerzen, Magenbeschwerden oder Verstopfung.
 - 2 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, daß es mir schwerfällt, an etwas anderes zu denken.
 - 3 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, daß ich an nichts anderes mehr denken kann.
- U**
- Ich habe in letzter Zeit keine Veränderung meines Interesses an Sex bemerkt.
- 1 Ich interessiere mich weniger für Sex als früher.
 - 2 Ich interessiere mich jetzt viel weniger für Sex.
 - 3 Ich habe das Interesse an Sex völlig verloren.

_____ Subtotal Seite 2

_____ Subtotal Seite 1

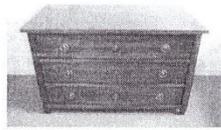
_____ Summenwert

Anlagen

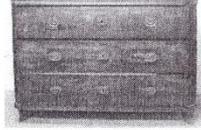
10.4 Bewertung der Bilder anhand ihres Aktivierungscharakters



N18B



N19A



N19B



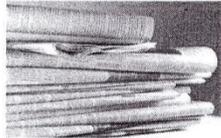
N20A



N20B



N21A



N21B



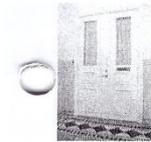
N22A



N22B



N23A



N23B



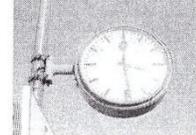
N24A



N24B



N25A



N25B



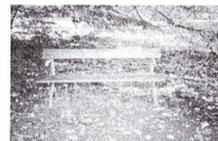
N26A



N26B



N27A



N27B



N28A



N28B



N29A



N29B



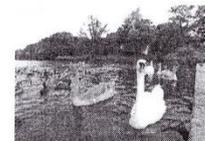
N30A



N30B



N31A



N31B



N32A



N32B



N33A



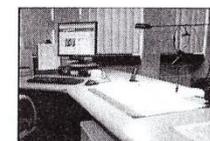
N33B



N34A



N34B



N35A



N35B