

AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE  
LEITER: PROF. DR. RAINER RUPPRECHT  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

EINFLUSS TRANSKRANIELLER GLEICHSTROMSTIMULATION DES  
DORSOLATERALEN PRÄFRONTALEN KORTEX AUF SEXUELLES VERLANGEN

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Marissa Elisabeth Köhler

2020



AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE  
LEITER: PROF. DR. RAINER RUPPRECHT  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

EINFLUSS TRANSKRANIELLER GLEICHSTROMSTIMULATION DES  
DORSOLATERALEN PRÄFRONTALEN KORTEX AUF SEXUELLES VERLANGEN

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Marissa Elisabeth Köhler

2020

Dekan: Prof. Dr. med. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Berthold Langguth

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wilhelm Schulte-Mattler

Tag der mündlichen Prüfung: 17. März 2020

# Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1.1 DLPFC, Craving und sexuelles Verlangen (SV).....	5
1.2 Transkranielle Magnet- (rTMS) und Gleichstromstimulation (tDCS) als Beispiele nicht-invasiver Hirnstimulationsverfahren (NIBS) .....	7
1.3 rTMS-Studien zu Craving .....	9
1.4 tDCS-Studien zu Craving.....	9
1.5 Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV) im Zusammenhang mit Craving .....	10
1.6 Fragestellung .....	14
<b>2 Methoden</b> .....	<b>15</b>
2.1 Probanden.....	15
2.2 Studiendesign .....	16
2.2.1 Procedere .....	16
2.2.2 Videoaufnahmen .....	17
2.2.3 Rating der Videoaufnahmen.....	18
2.2.4 tDCS .....	19
2.2.4.1 Stimulationsgerät.....	19
2.2.4.2 Stromstärke und Stimulationsdauer.....	19
2.2.4.3 Größen der Elektroden .....	19
2.2.4.4 Auffinden der Anbringungsorte für die Elektroden .....	20
2.2.4.5 Anbringungsort für die Anode bei den Verum-Stimulationen .....	21
2.2.4.6 Anbringungsort für die Anode bei Scheinstimulation.....	21
2.2.4.7 Anbringungsort für die Kathode.....	22
2.2.5 Unannehmlichkeit und Verblindung der tDCS .....	24
2.2.6 Erfassung der HR und der HRV .....	24
2.3 Statistische Analyse.....	26
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>27</b>
3.1 Unannehmlichkeit und Verblindung der tDCS .....	27
3.2 Nebenwirkungen .....	30
3.3 Ratingwerte .....	30
3.4 Post-hoc t-Tests zu Q7 .....	35
3.5 HR und HRV .....	36
3.6 Korrelation zwischen SV und HR bzw. HRV .....	39
<b>4 Diskussion</b> .....	<b>40</b>
4.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse .....	40
4.2 Unannehmlichkeit der tDCS .....	40
4.3 Verblindung der tDCS.....	43

4.4 Nebenwirkungen .....	45
4.5 Messverfahren zur Quantifizierung von SV .....	47
4.6 Eingesetzte Belohnungsreize.....	48
4.7 Ratingwerte und Post-hoc t-Tests.....	49
4.8 HR und HRV .....	58
4.9 Korrelation zwischen SV und HR bzw. HRV .....	59
4.10 Verbesserungsvorschläge und Ausblick.....	60
4.10.1 Reiztypus .....	60
4.10.2 Probandenkollektiv und Studiendesign .....	62
4.10.3 Verblindung und Stromstärke .....	62
4.10.4 Elektrodenplatzierung .....	65
4.10.5 Physiologische Erfassung von SV .....	69
4.10.6 Sonstige Anregungen für zukünftige Versuche.....	69
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>71</b>
<b>6 Anhang .....</b>	<b>73</b>
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>8 Danksagung.....</b>	<b>91</b>
<b>9 Lebenslauf.....</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 DLPFC, Craving und sexuelles Verlangen (SV)

Auch in Zeiten künstlicher Befruchtung stellt das Sexualverhalten für viele Spezies noch den zentralen Faktor der Artenerhaltung dar. Ein wichtiger Teil dieses Verhaltens ist sexuelles Verlangen (SV), welches dazu führt, dass der Partner begehrt wird. Zu den frühen Theoretikern der Sexualforschung des Menschen zählt Freud mit seiner 1905 in „Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie“ erschienenen Definition der „Libido“ – einem natürlichen Drang bzw. Bedürfnis des Menschen, sexuelle Triebe auszuleben, um nicht neurotisch zu werden (Freud 1991). Seine Definition wurde später durch multidimensionale Konstrukte erweitert, welche vermehrenden Fokus auf soziale und psychologische Komponenten des Selbsterhaltungstrieb legten. So umfasst nach Levine SV den biologischen Trieb, sowie das kognitive Begehren und die emotionale Geneigtheit, sich sexuell zu verhalten (Levine 1987). Spector und Kollegen beschreiben SV als ein Interesse an bzw. einen Wunsch nach sexueller Aktivität (Spector et al. 1996). Es könne an der Menge und Stärke der Gedanken bemessen werden, die ein Individuum der Bereitschaft gegenüber oder dem Aufsuchen von sexuellen Aktivitäten widmet – kurz gefasst ein Interesse an sexueller Aktivität (Spector et al. 1996). Dieses könne in ein Interesse an sexueller Aktivität und Intimität mit einem Partner („dyadic sexual desire“) und in ein Interesse an sexueller Aktivität ohne Partner („solitary sexual desire“) eingeteilt werden (Spector et al. 1996).

Die dem Sexualverhalten zugrundeliegende funktionelle Neuroanatomie scheint laut einem 2012 erschienenen Review derjenigen zu gleichen, die der Verarbeitung anderer Belohnungsreize zugrunde liegt (Georgiadis und Kringelbach 2012). SV soll im Gehirn beispielsweise ähnlich verarbeitet werden wie Craving (aus dem Englischen für: Verlangen, Gier, Gelüst) nach Nahrung, wobei ein sogenannter „Pleasure Cycle“ durchlaufen wird mit einer Phase der Lust, des Gefallens, der Sättigung und des Lernens bezüglich eigener Vorlieben (Kringelbach et al. 2012). Poepl und Kollegen zeigten in einer Metaanalyse zur Neuroanatomie sexueller Erregung, dass bei der Verarbeitung sexueller Stimuli unter anderem Hirnregionen aktiv sind, die für kognitive und affektive Evaluation sowie Relevanzdetektion des Stimulus zuständig sind (Poepl et al. 2014). Dazu gehören die Lateralen Präfrontalen Kortizes (LPFC), die während der Demonstration visueller sexueller Reize erhöhte Aktivität aufweisen (Poepl et al. 2014).

Der LPFC ist wichtig für exekutive Funktionen wie das Erinnern, Planen und Ausführen von Aktionen, welche zielgerichtetes, den jeweiligen Umständen angepasstes Handeln ermöglichen und bei Personen mit Schädigungen in diesem Hirnbereich charakteristischerweise beeinträchtigt sind (Fuster 2001).

Speziell dem dorsalen Anteil des LPFC (Dorsolateraler Präfrontaler Kortex, DLPFC) werden bestimmte exekutive Funktionen zugeschrieben (Planen, Argumentieren, Problemlösen), die typischerweise bei Läsionen dieses Hirnbereichs defizitär sind (Cummings 1993; Grafman und Litvan 1999). Der DLPFC wird auch allgemein mit höheren Hirnfunktionen wie der Fähigkeit zu einer langfristig vernünftigen Entscheidungsfindung bzw. zur Impulskontrolle in Zusammenhang gebracht (Cazalis et al. 2006; Heekeren et al. 2006; Boggio et al. 2010a; Grafman und Litvan 1999; Fecteau et al. 2010).

Zahlreiche Bildgebungsstudien konnten bereits einen Zusammenhang zwischen der neuronalen Aktivität im DLPFC und kognitiver Kontrolle demonstrieren. So stellte man im Jahr 2001 mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) bei gesunden Versuchspersonen eine erhöhte Aktivität im rechten DLPFC bei bewusster Unterdrückung sexueller Erregung fest (Beauregard et al. 2001). Mit dieser Technik hatten Maas et al. schon 1998 eine Korrelation zwischen Stärke der Aktivität im linken DLPFC und Ausmaß des Cravings nach Kokain bei abhängigen Probanden gezeigt (Maas et al. 1998). Im Jahr 2007 wurde dann, unter Verwendung funktioneller Nah-Infrarot Spektroskopie (fNIRS) bei gesunden Probanden, ein erhöhter Blutfluss im DLPFC während, sowie nach der Betrachtung visueller sexueller Stimuli dargestellt (Leon-Carrion et al. 2007). Weiterhin konnte mithilfe eines Positronen-Emissions-Tomographen (PET) bei nikotinabhängigen Probanden eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Glukosemetabolismus im DLPFC und der Stärke des Cravings nach Zigarettenrauchen nachgewiesen werden (Brody et al. 2002). Grant et al. zeigten bereits 1996 anhand desselben Verfahrens eine signifikante Korrelation zwischen erhöhtem Glukosemetabolismus im DLPFC und Craving nach Kokain bei abhängigen Probanden (Grant et al. 1996). Ferner veranschaulichte man mittels PET bei abhängigen bzw. adipösen Versuchspersonen eine Assoziation zwischen dysfunktionalen neuronalen Schaltkreisen im PFC und abnorm erhöhtem Substanzabusus bzw. Craving in Bezug auf Essen (Wang et al. 2004). Nicht zuletzt konnte mittels PET einen generell erniedrigten Glukosemetabolismus im PFC bei Probanden mit Kokainmissbrauch in der Vorgeschichte im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen gezeigt werden (Volkow et al. 1992). Diese Verminderung korrelierte mit der



Dosis und der Dauer des Substanzmissbrauchs; d. h., je stärker die Drogenabhängigkeit der Probanden, desto eingeschränkter die Aktivität des PFC (Volkow et al. 1992).

Aus diesen Erkenntnissen resultiert die Möglichkeit, dass der DLPFC auch eine Rolle bei der Top-Down-Modulation sexueller Reize spielen könnte. Er könnte maßgeblich beteiligt sein an der Entstehung eines adäquaten Maßes an SV durch ein Zusammenspiel aus der neuronalen Antwort auf einen entsprechenden externen Reiz („Bottom-up-Prozess“) und dem internen Ermessen, ob diesem Reiz in jenem Moment Bedeutung zugemessen werden sollte („Top-down-Prozess“). Anders ausgedrückt bedeutet das, dass der DLPFC die Instanz sein könnte, der zufolge man im jeweiligen Moment als irrelevant eingestuften Reizen der Außenwelt geringe bis keine Aufmerksamkeit schenkt bzw. Reaktion entgegnet. Dies beinhaltet die Fähigkeit, naheliegende, aber unangepasste Reaktionen zu unterbinden. Die Meinung, dass der DLPFC eine wichtige Rolle in der Top-down-Regulierung von Aufmerksamkeit sowie in der Inhibition irrelevanter Informationen spielt, wird auch von anderen Forschern gestützt (Sandrini et al. 2008).

In diesem Zusammenhang werden beeinträchtigte inhibitorische Funktionen auch bei alkoholabhängigen Personen vermutet, da sie häufig Probleme im Abwenden ihrer Aufmerksamkeit von nicht sachbezogener Information haben (Ingjaldsson et al. 2003a; Johnsen et al. 1994; Stormark et al. 2000; Stetter et al. 1994). Besonders die Frontallappen sollen von chronischem und akutem Alkoholgenuss (sowie anderer Drogen wie Kokain) betroffen sein; diese Gehirnbereiche sind besonders wichtig erstens für hemmende kognitive Funktionen im Allgemeinen und zweitens für die bekanntlich beeinträchtigte Fähigkeit zur Selbstkontrolle bei akuter Alkoholintoxikation und chronisch alkoholkranken Personen (Lyvers 2000; Thayer und Lane 2009).

Diese Befunde lassen vermuten, dass der DLPFC ein Modulationsvermögen bezüglich Craving/Verlangen besitzt, welches gegebenenfalls experimentell mittels nicht-invasiver Hirnstimulationsverfahren (NIBS) beeinflusst werden könnte, wie auch die folgenden Kapitel zeigen.

## 1.2 Transkranielle Magnet- (rTMS) und Gleichstromstimulation (tDCS) als Beispiele nicht-invasiver Hirnstimulationsverfahren (NIBS)

Zahlreiche Wissenschaftler machen sich die Tatsache zunutze, dass NIBS mittels niederfrequenter repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS) die Erregbarkeit der sich

direkt unter dem Einfluss des Magnetfelds befindlichen Nervenzellen zu senken vermag, während hochfrequente rTMS deren Erregbarkeit steigert; die Effekte können hierbei noch über die Stimulationsdauer hinaus anhalten (Nahas et al. 2001; Pascual-Leone et al. 1994; Chen et al. 1997).

Auch bei der transkraniellen Gleichstromstimulation (tDCS) wird eine Erregung bzw. eine Hemmung der sich unter der Elektrode befindlichen Neuronen durch die Anode bzw. die Kathode erzielt (Nitsche und Paulus 2000). Man geht davon aus, dass Erregbarkeitsänderungen auf eine Modifikation des Membranpotentials der stimulierten Gehirnzellen zurückzuführen sind – genauer gesagt soll anodale tDCS die Neurone depolarisieren und kathodale tDCS die Neurone hyperpolarisieren (Bindman et al. 1962; Purpura und McMurtry 1965). Die dadurch geschaffenen Erregbarkeitsänderungen vermögen – analog zur rTMS – noch über die Stimulationsdauer hinaus zu wirken; dabei sollen die Langzeiteffekte durch sog. Langzeitpotenzierung bzw. Langzeitdepression vermittelt werden und die Effekte umso länger anhalten, je länger stimuliert wurde (Bindman et al. 1962; Nitsche und Paulus 2000, 2001; Malenka und Nicoll 1999). Batsikadze et al. berichten von einem Anhalten der Effekte von bis zu 90 Minuten im Anschluss an eine einmalige anodale Stimulation mit 2 mA Stromstärke (Batsikadze et al. 2013). Die Entfernung zwischen den Elektroden korreliert negativ mit dem Ausmaß der Stimulationseffekte sowie mit der Zeitspanne, über die die Effekte nach Stimulation anhalten (Moliadze et al. 2010; Nitsche et al. 2007). Ferner ist die Größe der verwendeten Elektroden von Bedeutung, da kleine Elektrodenflächen die Stimulationseffekte fokussieren, während große sie zerstreuen (Nitsche et al. 2007).

Insgesamt gilt die tDCS als kostengünstiges und leicht handhabbares NIBS, das – bei Beachtung der Richtlinien zu Sicherheit und Stimulationsparametern – besonders nebenwirkungsarm ist (Nitsche et al. 2003; Iyer et al. 2005). Vorteile gegenüber der rTMS sind die im Allgemeinen als weitaus weniger unangenehm empfundene Stimulation; lediglich in den ersten Sekunden der Intervention wird typischerweise ein leichtes Hautkribbeln unter der Stirnelektrode wahrgenommen (Gandiga et al. 2006). Damit geht eine gute Möglichkeit zum Verblinden einer Placebo-Bedingung einher, bei welcher man den Stromfluss nach Ablauf der Fade-in-Phase abschaltet, vgl. 2.2.4.2 (Gandiga et al. 2006).

Nach Studien, in denen die Erregbarkeitsänderungen der stimulierten Neuronen des Motorkortex nach tDCS länger nachweisbar waren als nach rTMS (Nitsche und Paulus; Romero et al.), stellten Fregni und Kollegen die Hypothese auf, dass tDCS eine bessere

Methode als rTMS darstelle, um Craving zu reduzieren (Nitsche und Paulus 2001; Romero et al. 2002; Fregni et al. 2008a).

### 1.3 rTMS-Studien zu Craving

Es konnte statistisch belegt werden, dass die Fähigkeit zu bewusster Selbstbeherrschung in einer Probandengruppe, deren neuronale Aktivität im rechten DLPFC mittels niederfrequenter rTMS transient unterbrochen worden war, im Vergleich zur Probandengruppe mit rTMS über dem linken DLPFC und zu jener mit Scheinbehandlung herabgesetzt war (Knoch und Fehr 2007). In einer anderen Studie wurde durch hochfrequente rTMS über dem linken DLPFC ein gleichbleibendes Maß an Craving nach Essen erzielt, wobei in der Vergleichsgruppe, welche Scheinstimulation erhalten hatte, ein Anstieg des Cravings zu beobachten war (Uher et al. 2005).

Eichhammer et al. zeigten bei nikotinabhängigen Probanden durch hochfrequente rTMS über dem linken DLPFC eine Verminderung des auf die Stimulation folgenden Zigarettenkonsums im Vergleich zu der Sitzung mit Scheinbehandlung (Eichhammer et al. 2003). Li und Kollegen konnten weiterhin zeigen, dass nikotinabhängige Probanden, deren linker DLPFC hochfrequent stimuliert worden war, – im Vergleich zu Probanden, die Scheinstimulation erhalten hatten – nach der Intervention über weniger Craving nach Zigarettenrauchen klagten (Li et al. 2013). Bei nikotinabhängigen Versuchspersonen konnte man ebenfalls eine signifikante Minderung des Cravings nach Zigarettenrauchen nach einer Sitzung hochfrequenter rTMS über dem linken DLPFC gegenüber einer Sitzung mit Scheinstimulation verzeichnen (Pripfl et al. 2014).

Andere Autoren postulieren dagegen, dass hochfrequente rTMS über dem rechten DLPFC zu einer signifikanten Senkung von Craving führe (Enokibara et al. 2016).

Eine Metaanalyse über Craving nach unterschiedlichen Drogen und hochkalorischem Essen schrieb der hochfrequenten rTMS sowie der tDCS (vgl. 1.4) das Vermögen zu, Craving durch Stimulation des rechten und/oder des linken DLPFC zu reduzieren (Jansen et al. 2013).

### 1.4 tDCS-Studien zu Craving

Eine Reihe von Studien untersuchte bereits die Beeinflussbarkeit von Craving durch tDCS in Bezug auf gängige Belohnungsreize. Bei nikotinabhängigen Probanden wurde eine Erniedrigung des Cravings nach Zigarettenrauchen verzeichnet, nachdem sie anodale tDCS

über dem DLPFC (sowohl rechts- als auch linksseitig) erhalten hatten, wobei bei Scheinstimulation keine signifikante Senkung des durch die entsprechenden Reize hervorgerufenen Cravings zu verzeichnen war (Fregni et al. 2008a). Eine andere Studie zeigte bei alkoholabhängigen Studienteilnehmern mittels Applizierung ebenfalls rechts- als auch linksseitiger anodaler tDCS ein vermindertes Craving nach Alkohol im Vergleich zu der Situation nach Scheinbehandlung (Boggio et al. 2008b). Andere Versuche derselben Forschungsgruppe ergaben nach rechts-anodaler tDCS des DLPFC (Kathodenplatzierung über kontralateralem DLPFC) ein Reduktion von Craving nach Marihuana bei abhängigen Probanden gegenüber Scheinstimulation (gleichbleibendes Craving) und gegenüber links-anodaler Stimulation (nicht-signifikanter Anstieg des Cravings) (Boggio et al. 2010b).

Des Weiteren wurde bei Versuchspersonen mit einer starken Vorliebe für kalorienreiche Nahrungsmittel ein reduziertes Maß an Craving nach Essen im Anschluss an rechtsseitige anodale tDCS demonstriert, wobei das Maß an Craving im Anschluss an linksseitige anodale tDCS unverändert blieb und nach Scheinstimulation anstieg (Fregni et al. 2008b).

Eine Metaanalyse über Studien zu tDCS im Zusammenhang mit Craving nach Essen ergab eine regelmäßig festgestellte Reduktion des Verlangens bei Platzierung der Anode über dem rechten DLPFC (Sauvaget et al. 2015).

## 1.5 Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV) im Zusammenhang mit Craving

In einer Metaanalyse konnte festgestellt werden, dass entsprechende Belohnungsreize bei alkohol-, nikotin-, heroin- oder kokainabhängigen Personen sowohl subjektiv erfahrbare Auswirkungen (d. h. Craving) als Folge haben, als auch autonome bzw. physiologisch erfahrbare (Carter und Tiffany 1999). Zu diesen zählt eine erhöhte Herzrate (HR) (Carter und Tiffany 1999). Ein weiteres Review berichtet von einem inhibitorischen Neuronennetzwerk, welches vom Präfrontalen Kortex über die Amygdala zu den sympathischen und parasymphatischen medullären Ausgangsneuronen zieht und auf diese Weise die HR und die sog. Herzratenvariabilität (HRV) modulieren kann (Thayer und Lane 2009).

Dass Belohnungsreize die HR beeinflussen können, wurde schon des Öfteren gezeigt, wobei sowohl ein Steigen (Tiffany und Drobos; Drobos und Tiffany; Cepeda-Benito und Tiffany; Nederkoorn et al.), ein Sinken (Ingjaldsson et al.; Jansma et al.; Niaura et al.), als auch ein Gleichbleiben (Rajan et al.; Tong et al.; Miranda Jr. et al.) der HR nach der Präsentation von

Nikotin- oder Alkoholreizen bei abhängigen Versuchspersonen beobachtet werden konnte (Drobles und Tiffany 1997; Tiffany und Drobles 1990; Cepeda-Benito und Tiffany 1996; Ingjaldsson et al. 2003a; Ingjaldsson et al. 2003b; Jansma et al. 2000; Niaura et al. 1989; Rajan et al. 1998; Tong et al. 2007; Miranda Jr. et al. 2008; Nederkoorn et al. 2000).

Einige Forscher sind hingegen davon überzeugt, dass die HRV die nützlichste Methode darstellt, um die Aktivität des Autonomen Nervensystems (ANS) auf nicht-invasive Weise zu beurteilen (Rajendra Acharya et al. 2006; Xhyheri et al. 2012). Die HRV beschreibt die Variabilität des Abstandes zwischen konsekutiven Herzschlägen im Laufe der Zeit und ist eine der sensitivsten und objektivsten Marker des Zusammenspiels zwischen Sympathikus und Parasympathikus (Stanton et al. 2015). Gängige Maße für die HRV umfassen die Standardabweichung aller RR-Intervalle einer Elektrokardiogramm-Messung (Gesamtvariabilität; SDNN), die Leistungsdichtespektren von 0.05 bis 0.15 Hz (LFpowFFT; aus dem Englischen für: Low Frequency Power Fast Fourier Transform) und die von 0.16 bis 0.40 Hz (HFpowFFT; High Frequency Power Fast Fourier Transform) (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology 1996). Nach bisherigem Kenntnisstand soll die HFpowFFT vagale/parasympathische Aktivität (Akselrod et al.; Malik et al.; Malliani et al.; Pomeranz et al.) und die LFpowFFT eine Mischung aus sympathischer und parasympathischer Aktivität (Akselrod et al.; Appel et al.; Bloomfield et al.; Taylor et al.) reflektieren, wengleich einige Forscher (Rajendra Acharya et al.) der Meinung sind, die LFpowFFT reflektiere lediglich sympathische Aktivität (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology 1996; Appel et al. 1989; Akselrod et al. 1981; Taylor et al. 1998; Bloomfield et al. 1997; Malliani et al. 1991; Pomeranz et al. 1985; Rajendra Acharya et al. 2006). Auch die SDNN spiegelt die Aktivität von Sympathikus und Parasympathikus wider (Barutcu et al. 2005; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology 1996; Vaage-Nilsen et al. 2001).

In Untersuchungen von Stanton et al. korrelierte die SDNN mit sexueller Erregung und Erregbarkeit, d. h., eine erhöhte SDNN ging im Gegensatz zu erniedrigten SDNN-Werten mit einer verbesserten sexuellen Erregbarkeit einher (Stanton et al. 2015). Rajan et al. berichten des Weiteren von einer Erhöhung der SDNN und der LFpowFFT bei alkoholabhängigen Probanden auf Alkoholreize hin (Rajan et al. 1998). Auch Jansma et al. demonstrierten eine erhöhte LFpowFFT bei der Präsentation von Alkoholreizen bei alkoholabhängigen Probanden (Jansma

et al. 2000). Ebenso verhielt es sich in einer Studie zu Craving nach Essen, in der eine signifikant erhöhte LFpowFFT während Reizpräsentation beobachtet wurde (Nederkoorn et al. 2000). Erblich et al. konnten neben einer erhöhten LFpowFFT auch eine erhöhte HFpowFFT bei nikotinabhängigen Probanden nach entsprechender Reizpräsentation zeigen (Erblich et al. 2011). Dass die HRV mit Craving im Zusammenhang stehen könnte, lassen auch Studien vermuten, die nach dem Praktizieren von sog. HRV-Biofeedback ein reduziertes Maß an Craving nach Essen oder bestimmten Drogen verzeichneten (Meule et al. 2012; Zucker et al. 2009).

Auf physiologischem Niveau sind der sympathische und der parasympathische Teil des ANS verantwortlich für die Generierung einer sexuellen Antwort: Parasympathische Fasern aus dem Sakralmark, welche zu den Genitalorganen ziehen, sorgen für die Erektion des männlichen Glieds; sympathische Fasern sind dagegen verantwortlich für die anschließende Ejakulation (Rampin und Giuliano 2000; Bear et al. 1996; Brindley 1983; Auffenberg et al. 2016; Brindley 1988). Auf zerebralem Niveau wird subjektiv empfundene (psychologische) sexuelle Erregung durch den Sympathikus generiert, was u. a. auch die erhöhte HR während sexueller Erregung erklärt (Rampin und Giuliano 2000; Motofei und Rowland 2005). So konnte man experimentell nachweisen, dass eine moderate Dominanz des Sympathikus für die genitale Erregung der Frau entscheidend ist (Stanton et al. 2015; Lorenz et al. 2012). In der Zusammenschau lässt sich festhalten, dass sowohl der Sympathikus, als auch der Parasympathikus für eine sexuelle Antwort von Belang sind und demnach Auswirkungen dieser Antwort auf objektivierbare Maße autonomer Aktivität wahrscheinlich sind. Um SV nach physiologischen Parametern darzustellen, bietet sich somit die Erfassung der HR und der HRV als Maß für vegetative Erregung an.

Die HRV ist auch deshalb von Interesse, weil sie laut Thayer und Lane die Fähigkeit zu den Umständen angepasstem Verhalten quantifizieren könne; zudem reflektiere sie negative Feedback-Mechanismen bzw. inhibitorische neuronale Prozesse (Thayer und Lane 2000). Es wird berichtet, dass eine niedrige HRV mit Impulsivität und eine hohe HRV mit der Fähigkeit zur Impulskontrolle assoziiert sind (Allen et al. 2000). Weitere Autoren sehen die HRV als Marker für die Fähigkeit zur Regulierung sowohl der Aufmerksamkeit als auch des Affekts bzw. der Emotionen (Johnsen et al. 2003; Porges 1991; Thayer und Lane 2000; Friedman und Thayer 1998). So wird die HRV als Maß für die Kapazität zu regulierter bzw. angepasster emotionaler Reagibilität auf bestehende äußere Umstände gesehen, da sie vegetative Flexibilität widerspiegelt (Appelhans und Luecken 2006; Thayer und Lane 2000). Überdies zeigte sich zum

einen eine generell erniedrigte HRV bei Alkoholikern im Vergleich zu nicht-alkoholabhängigen Probanden und zum anderen eine Senkung der HRV als akute Reaktion auf Alkoholgenuss (Ingjaldsson et al. 2003a; Weise et al. 1986; Rajendra Acharya et al. 2006). Hierbei ist interessant, dass laut Lyvers bei chronischem wie auch akutem Alkoholgenuss besonders die Frontallappen des Gehirns in ihrer Funktion beeinträchtigt werden – Bereiche, die dem Forscher zufolge unabdingbar für Inhibition und Selbstkontrolle sind (Lyvers 2000).

Laut Thayer und Mitarbeiter können die HR und die HRV Aufschlüsse über inhibitorische kortiko-subkortikale Schaltkreise geben, welche vom PFC zum Vegetativum ziehen und auf diese Weise angepasste Reaktionen auf die Erfordernisse der Umwelt ermöglichen; sind diese hemmenden Rückkopplungskreise in ihrer Funktion beeinträchtigt, so ist die hervorgerufene Enthemmung entsprechend anhand der Änderungen in HR und HRV quantifizierbar (Thayer und Lane 2009; Thayer und Brosschot 2005). Laut dem Review von Thayer und Lane kann ferner eine erhöhte HRV während der Regulierung von Emotionen beobachtet werden, wobei anhand von Bildgebung ein zugleich erhöhter Blutfluss in Gehirnregionen zu verzeichnen ist, die einerseits für Emotionsregulierung und andererseits für inhibitorische Prozesse wichtig erscheinen (Thayer und Lane 2009).

Die HRV wird maßgeblich von den Feedbackmechanismen des Baroreflexes beeinflusst, der die zentralen autonomen Netzwerkstrukturen im Mittelhirn über arterielle Blutdruckänderungen informiert (Eddie et al. 2015). Diese Informationen werden mit denen des Kortex bezüglich der Angemessenheit der bestehenden vegetativen Erregung integriert und in einem konstanten Regelkreis dem Herzen und anderen Organen zurückgemeldet (Eddie et al. 2015). Auf diesem Weg hat die kognitive Bewertung äußerer Bedingungen (im Fall unserer Studie etwa die Exposition gegenüber einem sexuellen Reiz) Einfluss auf die Aktivität des Herzens und somit auf die HRV. Dieses autonome Netzwerk nimmt demzufolge eine Schlüsselrolle in der Affektregulation und im Craving, sowie im zielgerichteten Verhalten ein (Eddie et al. 2015; Verheul et al. 1999).

Insgesamt kann die HRV also dazu dienen, die Fähigkeit zur Regulation von Verhalten, Kognition und Emotionen zu quantifizieren (Thayer und Lane 2000; Ingjaldsson et al. 2003a). Diese Aspekte sind in unseren Versuchen allesamt von zentraler Bedeutung. Mit diesem Hintergrund wäre es denkbar, dass sich bei entsprechenden Anstrengungen zur Selbstbeherrschung während des Ansehens sexuell erregender Videos Änderungen in der HRV zeigen.

## 1.6 Fragestellung

Die bisherigen Forschungsergebnisse zu Craving nach Nahrung, Nikotin und anderen Drogen legen nahe, dass sich sexuelles Verlangen (SV) ebenfalls mittels nicht-invasiver Hirnstimulationsverfahren (NIBS) beeinflussen lassen könnte. Dieser Sachverhalt ist interessant, um sexuelle Störungen anhand neurophysiologischer Gesichtspunkte besser interpretieren und behandeln zu können. Dementsprechend sollte in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob der DLPFC an der Regulation von SV kausal beteiligt ist.

Ziel war es zu testen, ob sich SV durch NIBS über dem rechten und/oder linken DLPFC verändern lässt. Aufgrund der anzunehmenden guten Verträglichkeit und somit überdies auch Verblindbarkeit wählten wir als Verfahren die transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS), vgl. 1.2.

Im Hinblick auf die zuvor erwähnten Forschungsergebnisse, die eine Verminderung von reizinduziertem Craving nach anodaler tDCS des DLPFC zeigen konnten (vgl. 1.4), vermuteten wir speziell eine durch die tDCS herbeigeführte Reduzierung des durch entsprechende Belohnungsreize generierten SV.

Die Belohnungsreize in Form einer pornografischen Videoaufnahme wurden den Versuchspersonen sowohl vor als auch nach der tDCS präsentiert und das subjektiv empfundene (durch entsprechende Ratingfragen getestet), sowie nach physiologischen Parametern darstellbare (durch HR- und HRV-Analysen erhobene) Ausmaß des dadurch hervorgerufenen SV untersucht.



## 2 Methoden

### 2.1 Probanden

Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte durch Aushänge. 24 männliche Personen nahmen an den Experimenten teil, von denen 23 ausgewertet wurden und ein Teilnehmer wegen ventrikulärer Extrasystolen mit kompensatorischer Pause und folglich Nicht-Auswertbarkeit seiner HRV-Daten ausgeschlossen wurde. Diese Stichprobengröße ist vergleichbar mit der anderer Arbeiten zu Craving im Zusammenhang mit tDCS (Kroczek et al.; Fecteau et al.; Falcone et al.; Goldman et al.) sowie zu Craving im Zusammenhang mit der Analyse der HR (Miranda Jr. et al.; Tong et al.) (Kroczek et al. 2016; Goldman et al. 2011; Falcone et al. 2016; Fecteau et al. 2014; Tong et al. 2007; Miranda Jr. et al. 2008).

Einschlusskriterium bei der vorliegenden Studie war ein Alter von 18 bis 30 Jahren; im Mittel betrug es  $23.39 \pm 2.66$  Jahre. Als weiteres Einschlusskriterium galt die Absenz von organischen und psychiatrischen Vorerkrankungen bzw. Dauermedikation. Hierzu führte ein Arzt der psychiatrischen Abteilung vor den Versuchen eine Anamnese durch. Dem selbst berichteten Beck-Depressions-Inventar zufolge lag bei keinem Studienteilnehmer eine depressive Symptomatik vor ( $4.17 \pm 3.01$ ) (Beck et al. 1961).

Zur Sicherstellung der Homogenität der Probandengruppe untersuchten wir vor den Experimenten Aspekte zu Bildungsstand und Sexualität mittels entsprechender Fragebögen bzw. Tests. 21 Versuchspersonen waren im Besitz der Hochschulreife. Mittels Erhebung des Edinburgh Handedness Inventory stellten wir Rechtshändigkeit sicher ( $M=83.20$ ;  $sd=23.10$ ; Spanne  $R=16.67-100.00$ ) (Oldfield 1971). Gemäß Sell Assessment of Sexual Orientation waren alle Probanden heterosexuell (Sell 1996). Die deutschsprachige Kurzversion des Sexual Desire Inventory (SDI-2; Kuhn et al. 2014) konnte weder hypo- noch hypersexuelle Tendenzen bei den Studienteilnehmern feststellen: Der SDI-Faktor 1 (SV mit Partner-Interaktion) erbrachte Werte von  $25.65 \pm 4.15$  ( $R=16-33$ ). Der SDI-Faktor 2 (SV ohne Partner-Interaktion) Werte von  $21.65 \pm 6.00$  ( $R=13-33$ ) und der Gesamt-SDI-Faktor Werte von  $47.30 \pm 8.22$  ( $R=33-64$ ). Das SDI-2 diente dazu einzuschätzen, ob die Probanden im Vergleich zu Personen desselben Geschlechts und Alters ein vergleichbares Maß an SV zeigen (Kuhn et al. 2014).

Gemäß der Skala der sog. „Sozialen Sexual-Erwünschtheit“ (SSE) des im Vorfeld erhobenen Multiphasic Sex Inventory (MSI) gab es keine Probanden, die dazu tendierten, auf intime Fragen sozial erwünscht zu antworten ( $30.39 \pm 2.31$ ) (Deegener 1996). Die Studienteilnehmer wurden dazu angehalten, 24 Stunden vor den jeweiligen Versuchen keinen Geschlechtsverkehr

mit einer Partnerin zu haben sowie keinen Alkohol, keine Drogen und keine psychotropen Medikamente zu konsumieren, was sie nach eigenen Angaben einhielten.

Für die Teilnahme an den Experimenten bekamen die Probanden eine Aufwandsentschädigung.

## 2.2 Studiendesign

Es handelte sich um ein randomisiertes, placebokontrolliertes Studiendesign. Der experimentelle Aufbau orientierte sich zu großen Teilen an einer Studie zur Reduktion von durch entsprechende Auslösereize induziertem Nikotin-Craving nach rTMS (Li et al. 2013).

### 2.2.1 Procedere

Die Experimente wurden in Räumlichkeiten des Bezirksklinikums Regensburg in der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg durchgeführt. Alle Studienteilnehmer willigten schriftlich in die Teilnahme an der Studie und in die Verarbeitung ihrer pseudonymisierten Daten ein. Ein Arzt der psychiatrischen Abteilungklärte die Teilnehmer zu Risiken und Nebenwirkungen der tDCS vor den Interventionen auf und schloss Kontraindikationen zur tDCS aus. Das Studienprotokoll wurde vor Forschungsbeginn von der Ethikkommission der Universität Regensburg mit Schreiben vom 13.06.2013 (Forschungsvorhaben), 24.03.2015 (Amendment 1) bzw. 23.02.2016 (Amendment 2) genehmigt.

Die Probanden wurden zu drei Sitzungen geladen, die im Abstand von exakt einer Woche zur gleichen Uhrzeit stattfanden. Alle Untersuchungen fanden im Zeitraum vom 25.04.2016 und 08.06.2016 an Wochentagen von 10.30 Uhr bis ca. 16 Uhr statt. Bei jeder Sitzung wurden dieselben Videoaufnahmen gezeigt, s. 2.2.2. An einem Versuchstag erhielten die Studienteilnehmer anodale tDCS über dem rechten DLPFC, an einem anderen Versuchstag über dem linken DLPFC und an einem dritten eine Scheinbehandlung mediofrontal, s. 2.2.4.5 und 2.2.4.6. Die Reihenfolge der Stimulationsorte war randomisiert (verwendet wurde der internetbasierte Randomisierungs-Generator <http://www.randomization.com/>) und balanciert. Die Kathode platzierten wir bei allen Sitzungen medial am Okziput, s. 2.2.4.7.

An den ersten, ca. 15-minütigen Video- und Rating-Block schloss sich der 20-minütige tDCS-Block an, woraufhin der zweite, ebenfalls ca. 15-minütige Video- und Rating-Block folgte, s. Abb. 1.

Während der Videopräsentationen und der Ratings befand sich der Studienteilnehmer allein im Versuchsraum; während der 20-minütigen tDCS war zusätzlich der Versuchsleiter anwesend.

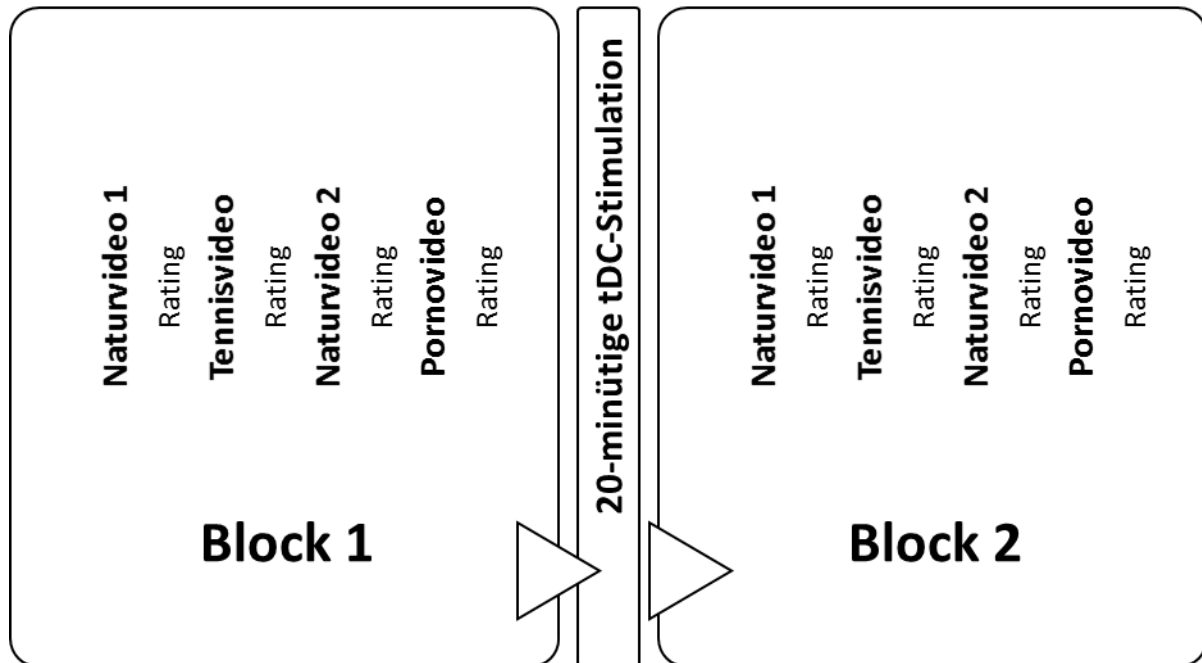


Abbildung 1: Studiendesign - Procedere bei jedem der drei Versuchstage

### 2.2.2 Videoaufnahmen

Während der beiden Videoblocks zeigten wir den Probanden drei Videoaufnahmen in folgender Abfolge:

- (1) Ein Naturvideo (Landschaftsaufnahmen), 290s lang („Naturvideo 1“)
- (2) Ein Tennisvideo (Tennismatch mit zwei Frauen und zwei Männern), 120s lang
- (3) Erneut dasselbe Naturvideo („Naturvideo 2“)
- (4) Ein Pornovideo (Mann und Frau bei vaginalem Geschlechtsverkehr), 120s lang

Die Präsentation der Naturvideos sollte dazu dienen, die Studienteilnehmer auf ein niedriges Erregungsniveau zu bringen.

Das Pornovideo zeigte einen Mann und eine Frau bei vaginalem Geschlechtsverkehr, wobei teils Ganzkörperaufnahmen, teils Nahaufnahmen der Geschlechtsteile bzw. die Penetration gezeigt wurden.

Die Videoaufnahmen wurden als Computer-Bildschirmpräsentation in ca. einem Meter Entfernung vor den Augen des Studienteilnehmers ohne Pause wiedergegeben. Der Ton zu den Videoaufnahmen wurde über Kopfhörer generiert.

### 2.2.3 Rating der Videoaufnahmen

Zum Bewerten (Rating) des durch die zuvor angesehene Videoaufnahme (Naturvideo 1, Tennisvideo, Naturvideo 2, Pornovideo) induzierten SV erschienen nach jeder einzelnen Aufnahme dieselben zehn Fragen. Diese werden im Folgenden als „Ratingfragen“ bezeichnet und wurden als Bildschirmpräsentation direkt im Anschluss an jede Aufnahme (d. h. zwischen den einzelnen Videos) gezeigt.

Die Probanden sollten anhand einer numerischen Ratingskala mit einer Likert-Skala von 1 bis 7 bewerten, wie sie sich während des vorhergehenden Videos gefühlt hatten, wobei 1 für „überhaupt nicht“ und 7 für „intensiv“ stand.

Die verwendeten Ratingfragen sowie das Konzept der Ratingskala von 1 bis 7 übernahmen wir von zwei Publikationen, welche wiederum auf einem Paper von Heiman und Rowland gründeten (Goldey und van Anders 2012; van Anders et al. 2009; Heiman und Rowland 1983). Heiman und Rowlands Arbeit fokussierte sich auf das durch einen entsprechenden Reiz induzierte SV sowie auf psychologische (z. B. „sensuous“), genitale (z. B. „genital feelings“), autonome (z. B. „faster heart rate“) und affektive (z. B. „interested“) Komponenten persönlich wahrgenommener sexueller Erregung (Heiman und Rowland 1983).

Die zehn zu bewertenden Ratingfragen („Q1“ bis „Q10“) lauteten:

- (Q1) Schnelleres Atmen (als normalerweise)
- (Q2) Schnellerer Herzschlag (als normalerweise)
- (Q3) Sexuelles Wärmegefühl
- (Q4) Genitale Empfindungen
- (Q5) Erektion
- (Q6) Sexuell erregt
- (Q7) Sinnlich
- (Q8) Angetört
- (Q9) Verlangen nach sexueller Aktivität mit einem Partner
- (Q10) Verlangen zu masturbieren

Die angegebene Wertung zwischen 1 und 7 wird im Folgenden als Ratingwert bezeichnet, die einzelnen Ratingfragen mit Q1 bis Q10.

Die Verarbeitung der erhobenen Ratingwerte erfolgte zu Anonymisierungszwecken unter Verwendung eines Pseudonyms von einer Person, die nicht der Versuchsleiter war, sodass die Zuordnung der Werte zum entsprechenden Probanden seitens des Versuchsleiters unmöglich war.

## 2.2.4 tDCS

Die Versuchspersonen wurden angewiesen, die Augen während der tDCS nach ihrem Belieben geöffnet oder geschlossen zu halten. Während der tDCS-Applikation fand keine Unterhaltung mit dem Versuchsleiter statt.

### 2.2.4.1 Stimulationsgerät

Wir führten die tDCS mit dem Gerät „DC-Stimulator PLUS“ der neuroConn GmbH (Ilmenau, Deutschland) durch. Im Gerät wählten wir den Stimulationsmodus „tDCS“ mit einem Fade-in (einem rampenförmigen Anstieg des Stromflusses) von 30s und einem Fade-out (einen rampenförmigen Abfall des Stromflusses) von wiederum 30s.

### 2.2.4.2 Stromstärke und Stimulationsdauer

Ein konstanter Strom von 2 mA wurde über 20 Minuten appliziert. Diese Stromstärke und Stimulationsdauer kommt in vielen ähnlichen Studien zum Einsatz (Sauvaget et al. 2015; Fregni et al. 2008a). Iyer et al. zeigten, dass jenes Vorgehen bei gesunden Personen unbedenklich ist, im Einklang mit derzeit geltenden Sicherheitskriterien (Iyer et al. 2005; Bikson et al. 2009).

Bei der Scheinstimulation griffen wir auf das bewährte Verfahren zurück, das Gerät nach dem 30-sekündigen Fade-in auszuschalten (Nitsche et al. 2003; Gandiga et al. 2006).

### 2.2.4.3 Größen der Elektroden

Die Größe der Anode betrug 5×7 cm (35 cm<sup>2</sup>) und die der Kathode 10×10 cm (100 cm<sup>2</sup>), analog Versuchen von Fregni, Boggio, Knoch und Kollegen (Fregni et al. 2008a; Knoch et al. 2008;

Boggio et al. 2009). Die Elektroden wurden von dünnen Schwämmchen ummantelt, welche mit 0.9-prozentiger Natriumchlorid-Lösung getränkt worden waren, und mithilfe verstellbarer Gummibänder am Kopf der Probanden befestigt, s. Abb. 3 bis 6. Laut Fregni et al. kommt die Verwendung einer großen Kathodenfläche einer anodalen Monostimulation nahe, da dieser Versuchsaufbau weniger Erregbarkeitsänderungen in den sich unter der Kathode befindenden Neuronen erzeuge als eine Kathode derselben Auflagefläche wie die der Anode – in Anlehnung an Erkenntnisse aus Arbeiten von Nitsche et al. (Fregni et al. 2008a; Nitsche et al. 2008). Das von einer tDCS hervorgerufene elektrische Feld soll am größten direkt unter und nahe der Anode sein – genauer gesagt zum einen tiefer im Gehirn zentral unter der Anode und zum anderen oberflächiger im Gehirn an ihren Rändern (Parazzini et al. 2011; Salvador et al. 2015). D. h., je kleiner die Anode, desto zentrierter das induzierte elektrische Feld (Bai et al. 2014). Diese Aussagen stehen im Einklang mit Nitsche et al., die zu dem Ergebnis kamen, dass erhöhte Fokalität durch Reduzieren der Fläche der stimulierenden Elektrode (bei gleichbleibender Stromdichte) oder durch Vergrößern der Fläche der Referenzelektrode (bei konstanter Stromstärke) erreicht wird (Nitsche et al. 2007). Auch Pripfl et al. setzten aus diesen Gründen in ihren Versuchen eine kleine Anode und große Referenzelektrode ein (Pripfl et al. 2013).

#### 2.2.4.4 Auffinden der Anbringungsorte für die Elektroden

Die Orte für die Platzierung der Elektroden markierten wir mit einem abwischbaren Stift auf der Kopfhaut mittels einer vorgefertigten, dem Umfang des Kopfes entsprechenden EEG-Haube des 10-20-Systems der EASYCAP GmbH (Herrsching, Deutschland). Dies waren die Punkte F3, F4, Fz und Pz (s. Abb. 2). Für die korrekte Positionierung der Haube gingen wir nach Jasper et al. vor (Jasper 1958).

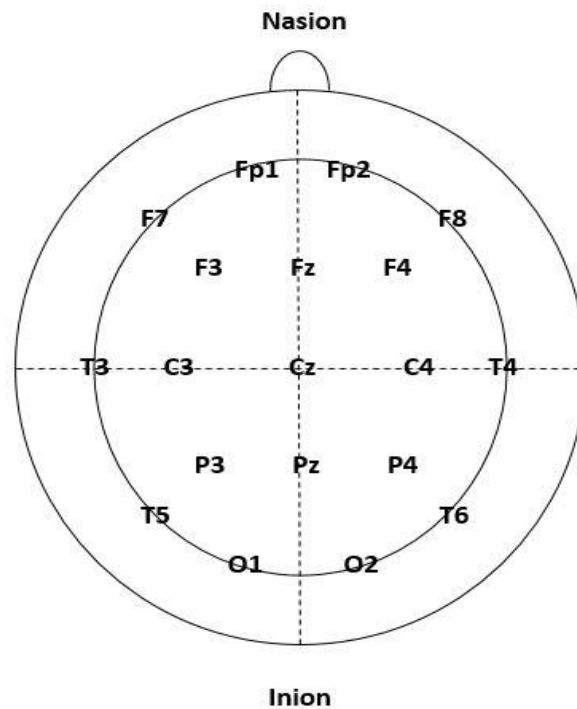


Abbildung 2: 10-20-System (eigene Abbildung)

F3 markierte den Ort für die Anode bei tDCS des linken DLPFC, F4 bei tDCS des rechten DLPFC. Bei der Scheinbehandlung wurde die Anode auf Fz platziert. Die Oberkante der Kathode grenzte an den okzipitalen Punkt Pz.

#### 2.2.4.5 Anbringungsort für die Anode bei den Verum-Stimulationen

Da sich die DLPFC für gewöhnlich unterhalb der EEG-Punkte F3 und F4, bzw. geringfügig anterior davon befinden, wählten wir eben diese Punkte als Stimulationsorte, d. h. Anbringungsorte für die Anode (s. Abb. 3-5) (Fitzgerald et al. 2009; Okamoto et al. 2004). Bei den Abbildungen 3 bis 5 handelt es sich lediglich um Veranschaulichungen. Auf Kontakt zur Kopfhaut wurde geachtet.

#### 2.2.4.6 Anbringungsort für die Anode bei Scheinstimulation

Wir wählten den mittigen Punkt Fz als Anbringungsort für die Anode bei Scheinstimulation, um diese möglichst gut zu verblinden: Wir informierten die Studienteilnehmer vor Beginn des Experiments, dass sie bei den drei Sitzungen jeweils an unterschiedlichen Stellen des

Frontalhirns („der Stirn“) mittels tDCS stimuliert werden würden, um zu verblinden, dass es eine Scheinbehandlung und jeweils eine echte Behandlung pro Hirnhälfte geben würde.

#### 2.2.4.7 Anbringungsort für die Kathode

Der Mindestabstand zwischen Anode und Kathode sollte 5 cm betragen, um zu vermeiden, dass ein Großteil des Stroms über die Kopfhaut zwischen den Elektroden anstatt intrazerebral fließt (Rush und Driscoll 1968). Wir platzierten die Kathode (d. h. die Referenzelektrode) daher medio-okzipital und somit möglichst weit von der Anode entfernt (jedoch noch auf dem Kopf). Dabei ließen wir die Oberkante der Kathodenfläche mit Pz abschließen. Gründe für letzteres waren, dass uns in unserem Versuchsaufbau mit einer Kathodenfläche von 10×10 cm die Gewährleistung des Mindestabstands von 5 cm bei Platzierung der Kathode auf dem kontralateralen DLPFC (wofür sich u. a. Fregni et al. entschieden) nicht bei allen Probanden möglich erschien; ebenso wenig wollten wir eine inhibitorische Wirkung (Effekt der Kathode) auf den kontralateralen DLPFC riskieren (Fregni et al. 2008a). Dieselbe Kathodenplatzierung bei allen Arten der Anodenplatzierung ermöglichte es, kathodale Effekte konstant zu halten und somit rein anodale Effekte zu messen.

Wir entschieden uns gegen eine extrazephalere Referenzelektrode, weil die Spannung (Voltzahl) entsprechend angepasst, d. h. erhöht werden müsste, um einen effizienten Stromfluss zu erzeugen, da die Distanz zwischen den Elektroden negativ mit der Dauer und dem Ausmaß der induzierten Effekte korreliert (Moliadze et al. 2010). Zwar schätzen u. a. Vandermeeren et al. eine extrazephalere Referenz als risikoarm ein, jedoch bleibt zu beachten, dass bei extrazephalen Referenzen der Strom letztlich immer den Hirnstamm (als Sitz wichtiger Areale des Vegetativums) passiert und dass bis dato noch wenig Evidenz über die Sicherheit dieser Elektrodenanordnung existiert (Vandermeeren et al. 2010). Im Zusammenhang hiermit hätte vermutlich auch eine Platzierung der Referenz über dem Rückenmark zu bezüglich unserem Forschungsvorhaben unerwünschten Auswirkungen führen können (funktionelle Modulation der Nervenstränge des darunterliegenden Rückenmarkabschnitts), weswegen wir uns gegen eine solche entschieden (Winkler et al. 2010; Cogiamanian et al. 2012; Cogiamanian et al. 2008).





Abbildung 3: Elektrodenplatzierung bei tDCS über dem rechten DLPFC (1). Anode frontal, Kathode okzipital

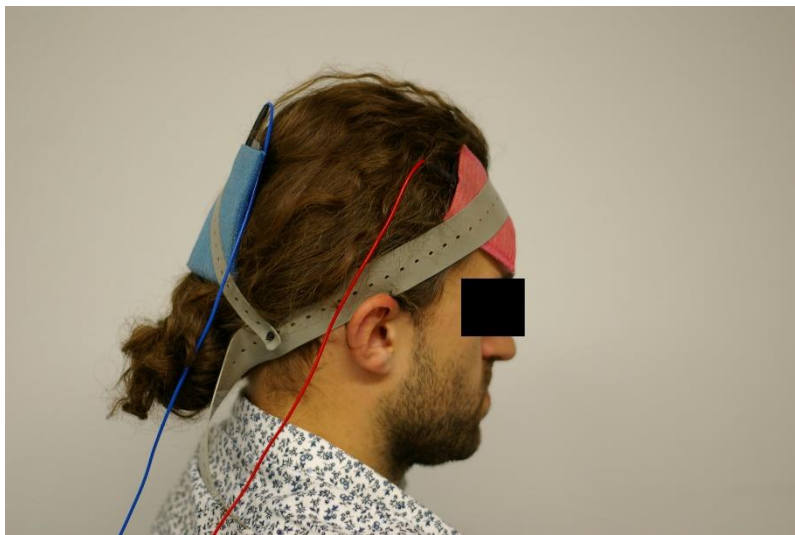


Abbildung 4: Elektrodenplatzierung bei tDCS über dem rechten DLPFC (2). Anode frontal, Kathode okzipital



Abbildung 5: Elektrodenplatzierung bei tDCS über dem linken DLPFC. Anode frontal, Kathode okzipital



Abbildung 6: Elektrodenplatzierung bei Scheinstimulation. Anode frontal, Kathode okzipital

### 2.2.5 Unannehmlichkeit und Verblindung der tDCS

Um die Toleranz der tDCS zu ermitteln, sollten die Studienteilnehmer im Anschluss an jeden Versuchstag anhand einer visuellen Analogskala von 0 (gar nicht unangenehm) bis 10 (sehr unangenehm) angeben, wie unangenehm sie die tDCS an dem Tag empfunden hatten. Zudem wurden eventuelle Nebenwirkungen dokumentiert.

Weiterhin fragten wir, ob sie der Meinung waren, die tDCS habe ihr SV beeinflusst (hierbei wurde nicht unterschieden zwischen Steigerung, Minderung oder Sonstigem).

Nach dem letzten Versuchstag gaben die Probanden an, ob sie meinten, eine der Sitzungen sei eine Scheinstimulation gewesen. Anschließend notierten wir, welche der Sitzungen dies gewesen sein sollte, bzw. welche sie raten würden, hätten sie die vorherige Frage mit „nein“ beantwortet. Den Grund für das Wählen der entsprechenden Sitzung erfassten wir ebenfalls.

Eine Ausfertigung des Studienprotokolls befindet sich im Anhang („Protokoll Sex-Craving“).

### 2.2.6 Erfassung der HR und der HRV

Zur Messung vegetativer Erregung erfassten wir die Herzrate (HR) und Herzratenvariabilität (HRV) während sämtlicher Videoaufnahmen und während den tDC-Stimulationsphasen. Für den Anbringungsort der Elektrokardiogramm-Elektroden sowie die Wahl der Maße für die HRV orientierten wir uns an einer Studie zu kardiovaskulären und autonomen Auswirkungen einer Präsentation von Nikotinreizen bei nikotinabhängigen Probanden (Erblich et al. 2011).

Die erfassten Maße zur HR und HRV waren:

- (1) MeanHR: Gemittelte HR aus allen RR-Intervallen
- (2) SDNN: Standardabweichung aller RR-Intervalle (Gesamtvariabilität)
- (3) LFpowFFT: Leistungsdichtespektrum von 0.05 bis 0.15 Hz
- (4) HFpowFFT: Leistungsdichtespektrum von 0.16 bis 0.40 Hz

Die Elektroden zur Ableitung der HR platzierten wir wie Erblich et al. subklavikulär, lateral des Sternums (Erblich et al. 2011). Um Bewegungsartefakte bei bereits geringfügigen Armbewegungen durch weiter mediale Platzierung zu vermeiden, befestigten wir die Elektroden jedoch relativ weit lateral in einer muskelfreien Mulde zwischen Musculus pectoralis und Musculus deltoideus. Die Referenz- und Erdungselektroden des Elektrokardiogramms befestigten wir medial am Nacken, etwa in Höhe des siebten Halswirbelkörpers.

Der Verstärker „BrainAmp DC“ der Brain Products GmbH (Gilching, Deutschland) verarbeitete das Elektrodensignal. Zur Auswertung der Daten verwendeten wir die Softwares „Brain Vision Analyzer 1“ (Brain Products GmbH) und „Kubios HRV Analysis“ der Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, University of Finland (Tarvainen et al. 2014).

Die Zeitfenster für die Analyse der HR- und HRV-Daten während der Videoaufnahmen betragen beim Tennis- bzw. Pornovideo jeweils 115s und beim Naturvideo 285s, da die jeweils ersten fünf Sekunden der Aufnahmen wegen Betätigung des Lautstärke-Reglers für die Kopfhörer und damit einhergehenden Bewegungsartefakten verworfen wurden. Für die tDC-Stimulationsphase betrug das Analysefenster 1140s; hier verwarfen wir jeweils die 30s des Fade-ins und des Fade-outs.

Die Aufzeichnung der HR ermöglichte uns neben der Erfassung der mittleren Herzfrequenz auch die Generierung der Standardabweichung des Zeitintervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Herzschlägen (SDNN) sowie zweier sog. Leistungsdichtespektren, welche ebenfalls gängige HRV-Maße darstellen, vgl. 1.5. Die Daten wurden auf die oben beschriebenen Zeitfenster gekürzt und in einem Hochpassfilter von 15Hz und einem Tiefpassfilter von 45Hz gefiltert (Brain Vision Analyzer 1). Danach wurden die Daten mit der Default-Einstellung des Programms Kubios weiteranalysiert und für Artefakte visuell inspiziert. Solche Artefakte fanden sich bei den Aufzeichnungen von insgesamt sechs Versuchspersonen und mussten auf folgende Art und Weise korrigiert werden, um die Daten verwertbar zu machen: Bei fünf

Personen wurden die Daten einmalig während einer echten oder der Scheinstimulation aus zwei Mittelwerten gemittelt, bei einer weiteren Person aus drei Mittelwerten. Das Stück Aufzeichnung mit den Bewegungsartefakten wurde dabei herausgeschnitten.

### 2.3 Statistische Analyse

Die statistischen Analysen führten wir mit der Software „IBM SPSS Statistics 23.0“ durch. Wir nahmen dreifaktorielle  $3 \times 2 \times 2$  Varianzanalysen vor (Stimulationsort  $\times$  tDCS  $\times$  Video; hierbei stand „Stimulationsort“ für rechtsseitige tDCS vs. linksseitige tDCS vs. Scheinstimulation, „tDCS“ für vor vs. nach tDCS und „Video“ für Tennis- vs. Pornovideo). Wir interessierten uns v. a. für den Haupteffekt „Video“, um zu überprüfen, ob das Pornovideo im Vergleich zum Tennisvideo zuverlässig SV induzierte.

Hierbei war von Interesse, ob tDCS SV (Porno- vs. Tennisvideo und vor vs. nach tDCS) im Vergleich zu einer Scheinbehandlung modulieren kann. Demnach berechneten wir den Interaktionseffekt jeweils für Q1 bis Q10 und für die Maße der HRV inklusive HR.

Für die Post-hoc Tests wurden gepaarte Student t-Tests verwendet.

Für die metrischen Variablen „Rating-Mittelwerte für Q1 bis Q10 der bewerteten Videoaufnahme“ und „HRV-Maße inklusive HR während der bewerteten Videoaufnahme“ für jede einzelne Bedingung (d. h. rechtsseitige tDCS vs. linksseitige tDCS vs. Scheinstimulation; vor vs. nach tDCS-Stimulation; Naturvideo 1 vs. Tennisvideo vs. Naturvideo 2 vs. Pornovideo) wurde eine Korrelationsanalyse nach Pearson durchgeführt.

Das Signifikanzniveau sämtlicher statistischer Analysen wurde auf  $p < 0.05$  (2-seitig) festgelegt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Unannehmlichkeit und Verblindung der tDCS

Für die Unannehmlichkeit der tDCS ergaben sich auf der Skala von 0 bis 10 Mittelwerte rechtsseitig von  $3.35 \pm 1.87$ , linksseitig von  $2.70 \pm 1.66$  und bei Scheinstimulation von  $1.87 \pm 1.25$ , s. Abb. 7. Paarweise Vergleiche zeigten, dass die Scheinbehandlung („sham“) weniger unangenehm als die rechtsseitige ( $T=3.724$ ;  $df=22$ ;  $p=0.001$ ) und als die linksseitige tDCS ( $T=2.201$ ;  $df=22$ ;  $p=0.039$ ) bewertet wurde. Statistisch gesehen wurden links- und rechtsseitige tDCS als gleich unangenehm empfunden ( $T=1.714$ ;  $df=22$ ;  $p=0.100$ ).

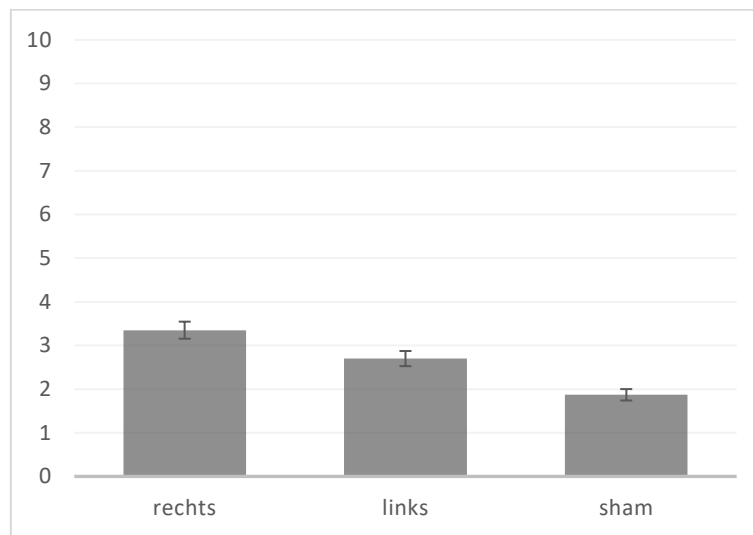


Abbildung 7: Mittelwerte mit Standardfehlern für Grad der Unannehmlichkeit der tDCS auf Skala von 0 (gar nicht unangenehm) bis 10 (sehr unangenehm)

Zehn Studienteilnehmer (43.5%) vermuteten, dass rechtsseitige tDCS ihr SV beeinflusst habe, die übrigen 13 (56.5%) verneinten dies. Bei linksseitiger tDCS vermuteten demgegenüber zehn Probanden, dass die tDCS ihr SV beeinflusst habe und 13, dass die tDCS ihr SV nicht beeinflusst habe. Bei Scheinstimulation bejahten 14 (60.9%) und verneinten neun Studienteilnehmer (39.1%) eine Beeinflussung, s. Abb. 8. Die jeweiligen Tests auf Binomialverteilung mit dem Testanteil von 50%, was der Ratewahrscheinlichkeit entspricht, waren nicht signifikant (rechts:  $p=0.678$ ; links:  $p=0.678$ ; sham:  $p=0.405$ ).

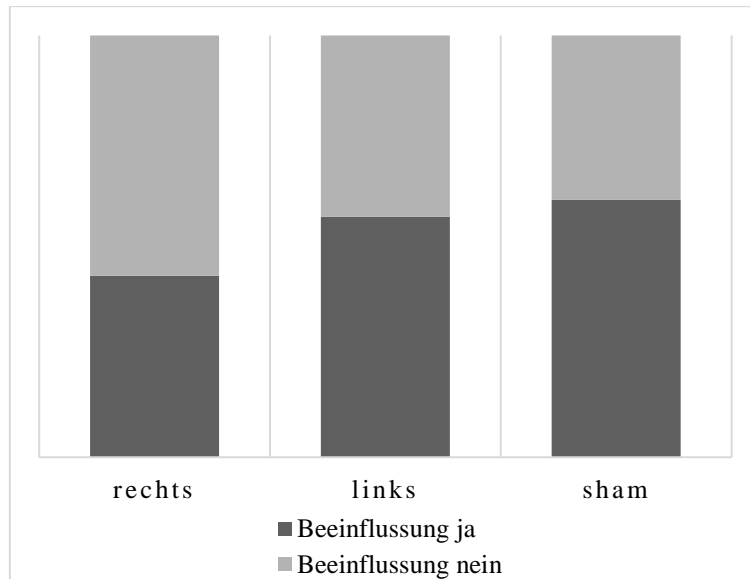


Abbildung 8: Hat die tDCS Ihr sexuelles Verlangen beeinflusst?

Sieben Studienteilnehmer (30.4%) meinten, dass es eine Scheinbehandlung gegeben habe; die restlichen 16 (69.7%) verneinten dies, s. Abb. 9. Von jenen sieben Probanden wiederum errieten drei (42.9%) die Sitzung mit der Scheinbehandlung richtig.

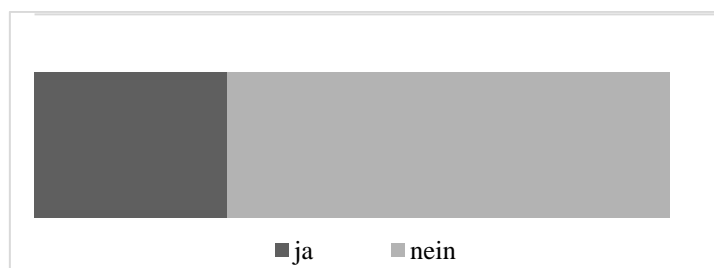


Abbildung 9: Gab es eine Scheinbehandlung?

13 Studienteilnehmer (56.5%) gaben bei der Frage, welche Sitzung die Scheinstimulation beinhaltet habe, die richtige Sitzung an. Jeweils fünf Probanden (21.7%) rieten, dass die tatsächliche Scheinsitzung die rechts- bzw. linksseitige tDCS gewesen sei, s. Abb. 10.

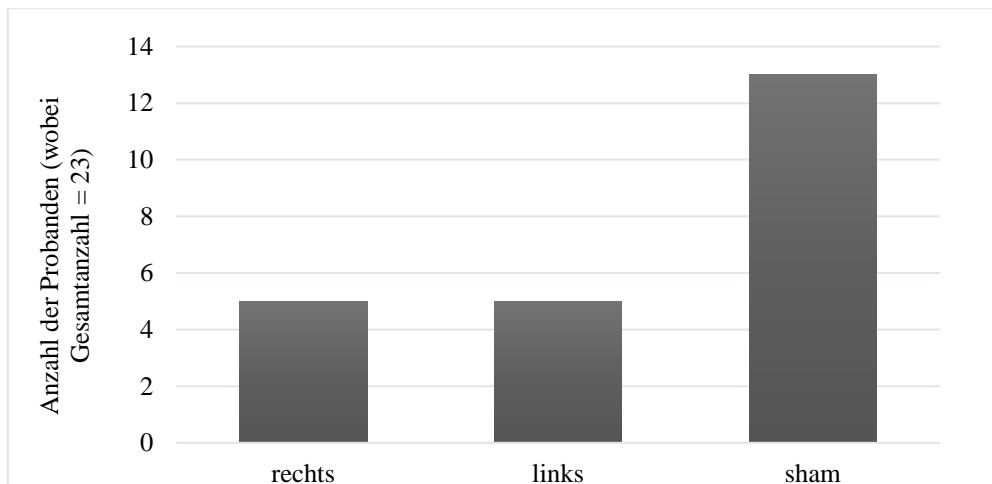


Abbildung 10: Welche tDCS-Sitzung war die mit Scheinbehandlung?

Von den 13 Probanden (56.5%), die die Scheinstimulation richtig errieten, gaben sieben (30.4%) als Grund an, sie hätten weniger Hautkribbeln verspürt, vier (17.4%) gaben an, sie hätten frei geraten, einer (4.3%) gab an, er habe bei jener Sitzung weniger Einfluss auf sein SV verspürt und ein weiterer (4.3%) gab an, sein Puls sei – nach seiner subjektiven Einschätzung – bei jener Sitzung nicht erhöht gewesen (was bei den anderen beiden Sitzungen der Fall gewesen sei), s. Abb. 11.

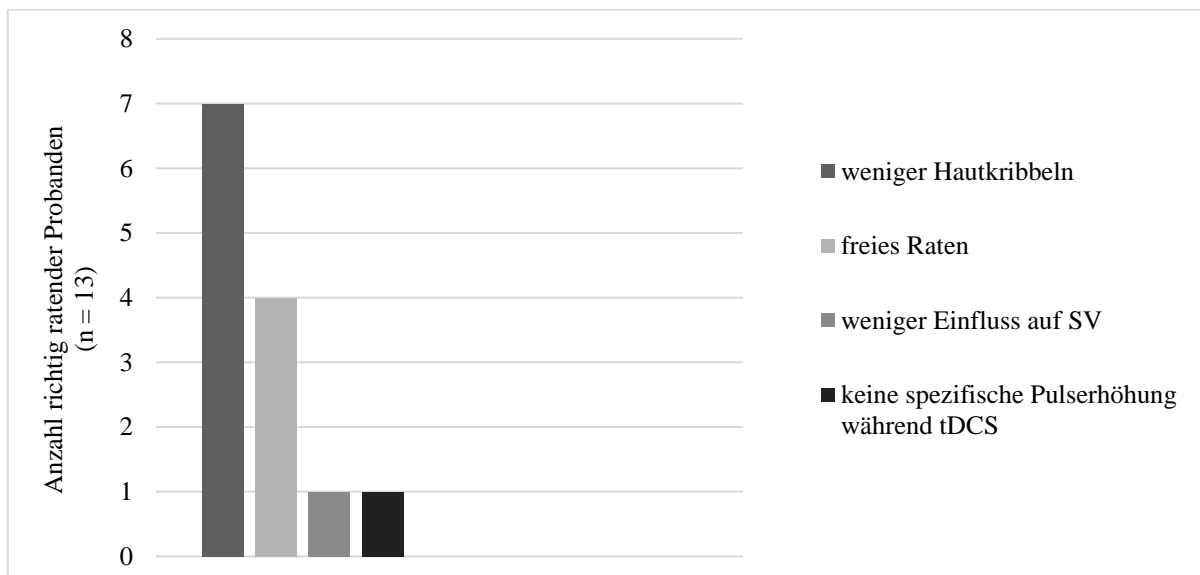


Abbildung 11: Gründe für richtiges Erraten der Scheinstimulation

### 3.2 Nebenwirkungen

Zwei der 23 Studienteilnehmer (8.7%) wiesen nach der rechtsseitigen tDCS eine leichte Hautrötung unter der Stirnelektrode auf, drei (13.0%) nach der linksseitigen, s. Abb. 12. Bezogen auf die Anzahl aller Sitzungen (69 Stück) entspricht dies einem Gesamtanteil an Hautrötungen von 7.2% aller Sitzungen. Ob eine Hautrötung vorlag oder nicht, wurde vom Versuchsleiter erwogen und dokumentiert.

Alle Probanden empfanden zu Beginn der tDCS bei jeder der drei Sitzungen ein geringfügig unangenehmes Hautkribbeln unter der Stirnelektrode.

Abgesehen davon vertrugen die Studienteilnehmer die Versuche gut. Speziell über Kopfschmerzen im Zusammenhang mit der tDCS wurde von keinem Teilnehmer geklagt.

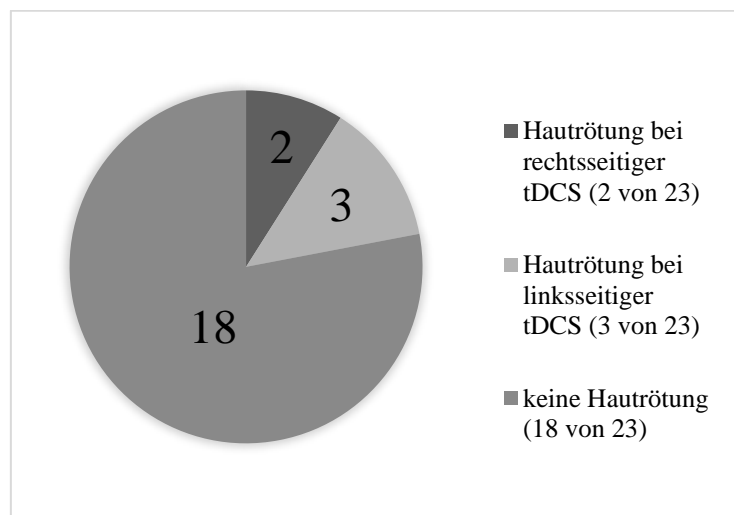


Abbildung 12: Nebenwirkungen – Anzahl der Probanden mit Hautrötungen unter einer Stirnelektrode

### 3.3 Ratingwerte

Die Varianzanalysen (ANOVAs) mit den unabhängigen Variablen „Stimulationsort“ (rechts vs. links vs. sham), „tDCS“ (vor vs. nach tDCS) und „Video“ (Tennisvideo vs. Pornovideo) und den abhängigen Variablen „Rating-Mittelwerte Q1 bis Q10“ zeigten einen Haupteffekt „Video“ für alle Ratingfragen, wobei das Pornovideo gemessen an Q1 bis Q10 signifikant mehr SV induzierte als das Tennisvideo, s. Tabelle 1 und Abbildungen 13 bis 22.

Der Dreifachinteraktionseffekt Stimulationsort\*tDCS\*Video zeigte unter den Ratingfragen nur bei Q7 („sinnlich“) ein signifikantes Ergebnis ( $F=3.271$ ;  $df=2,44$ ;  $p=0.047$ ), s. Tabelle 2. Die



Ratings der Naturvideos hatten hierbei keinen Einfluss auf das signifikante Ergebnis: Bei Korrektur des Ratingwertes für das Tennis- bzw. das Pornovideo um die Komponente des vorangehenden Naturvideos („Rating-Mittelwert Tennisvideo“ abzüglich „Rating-Mittelwert Naturvideo 1“ bzw. „Rating-Mittelwert Pornovideo“ abzüglich „Rating-Mittelwert Naturvideo 2“) ergab sich erneut ein signifikantes Ergebnis ( $F=3.652$ ;  $df=2,44$ ;  $p=0.034$ ). Q1 („schnelleres Atmen (als normalerweise)“) zeigte tendenzielle Signifikanz im Dreifachinteraktionseffekt ( $F=2.602$ ;  $df=2,44$ ;  $p=0.085$ ), s. Tabelle 2. Bei Korrektur des Ergebnisses um das vorhergehende Naturvideo zeigte sich jedoch keine erneute Nah-Signifikanz.

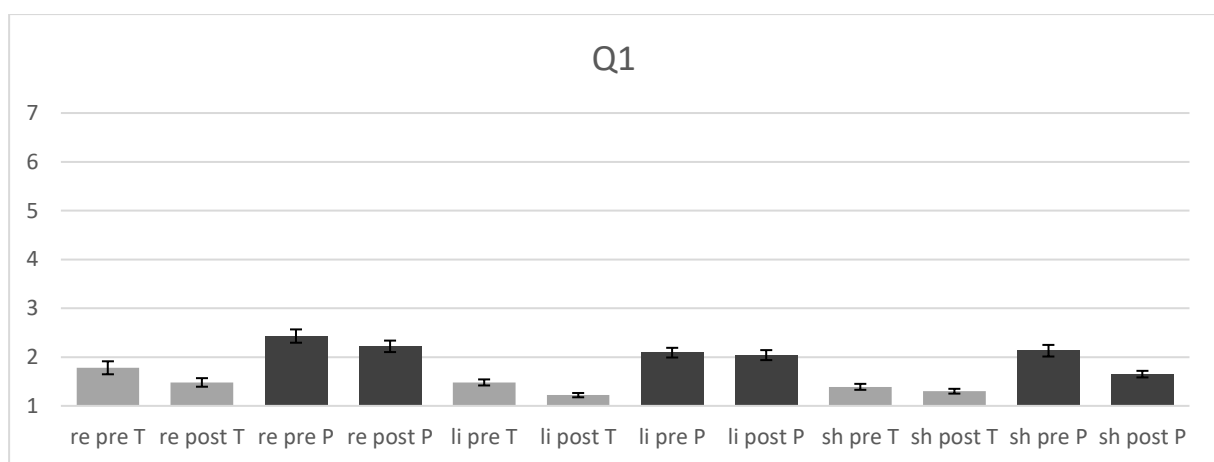


Abbildung 13: **Q1 „Schnelleres Atmen (als normalerweise)“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1, „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

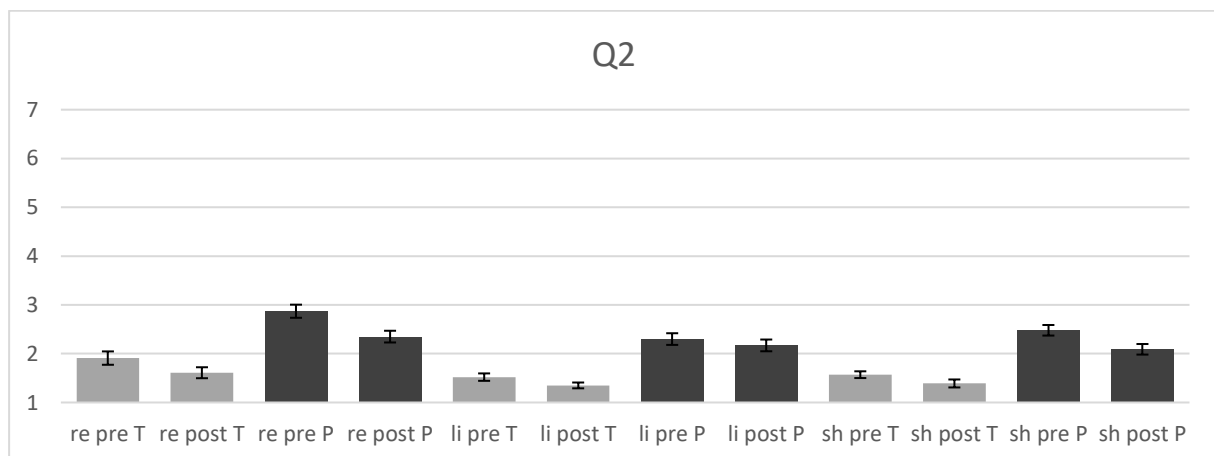


Abbildung 14: **Q2 „Schnellerer Herzschlag (als normalerweise)“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1, „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

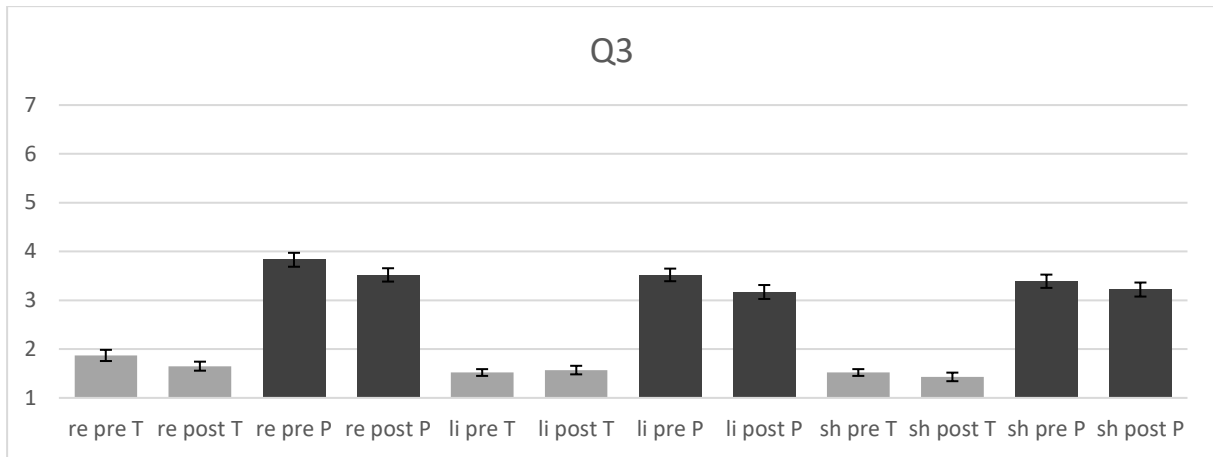


Abbildung 15: **Q3 „Sexuelles Wärmegefühl“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1, „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

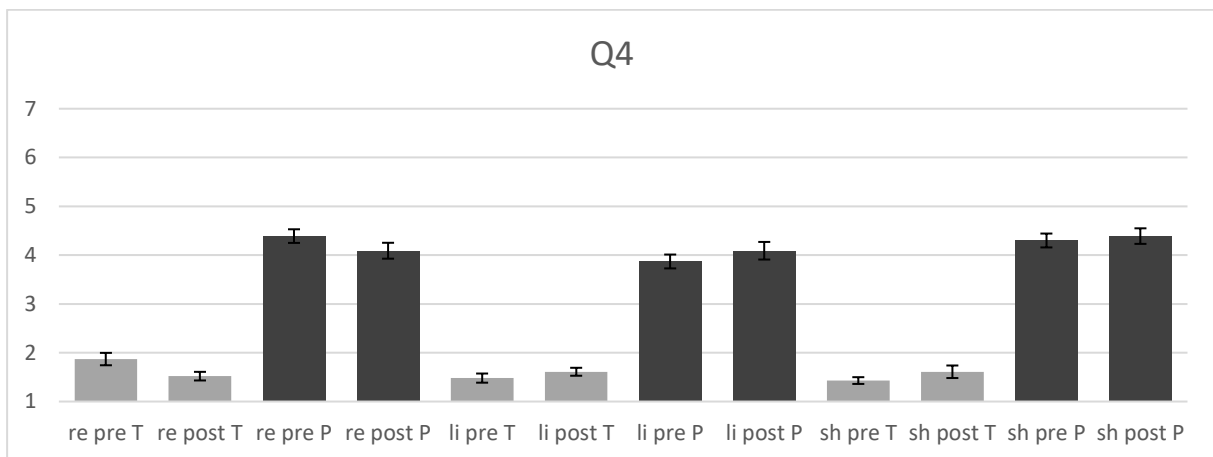


Abbildung 16: **Q4 „Genitale Empfindungen“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1, „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

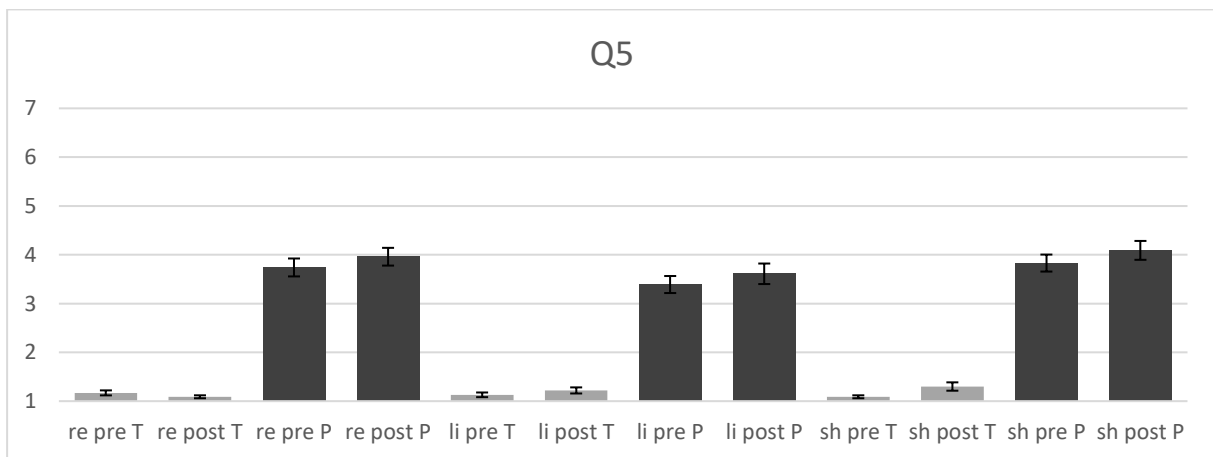


Abbildung 17: **Q5 „Erektion“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1, „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

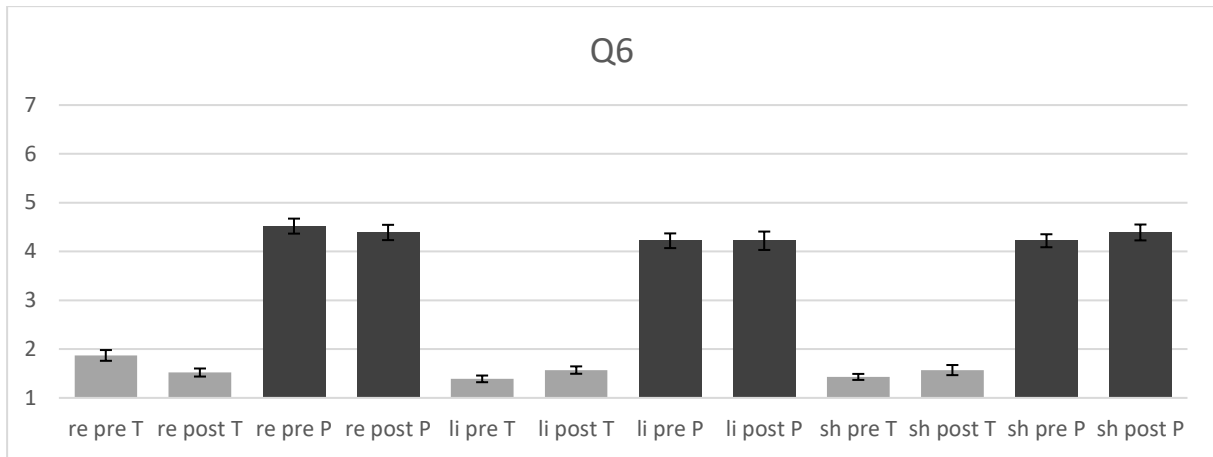


Abbildung 18: **Q6 „Sexuell erregt“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1 „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

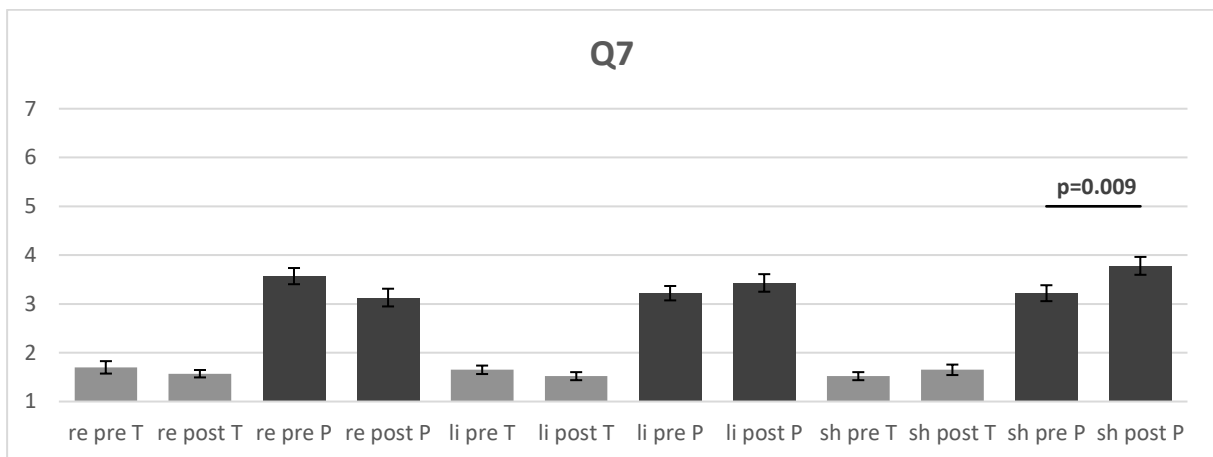


Abbildung 19: **Q7 „sinnlich“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1 „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

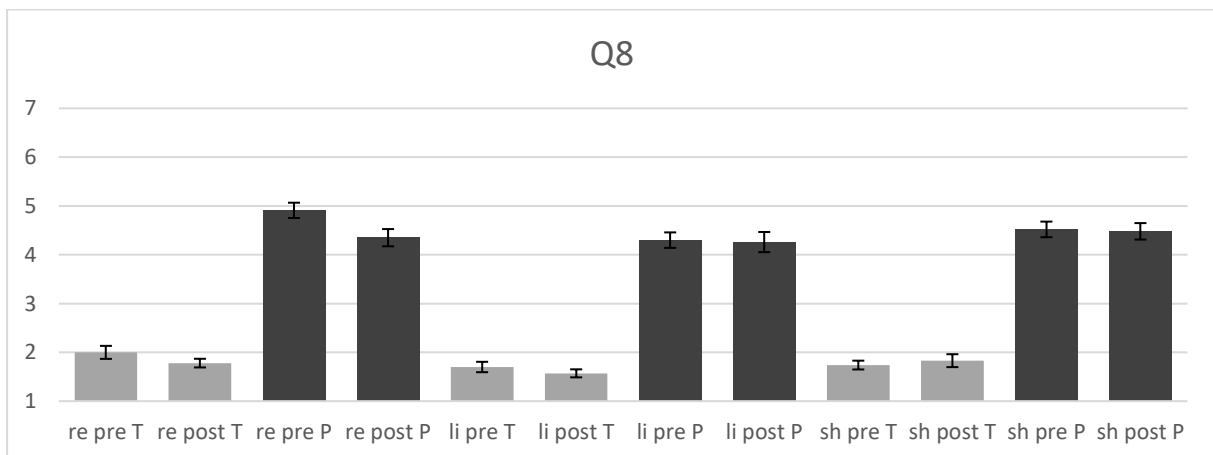


Abbildung 20: **Q8 „Angetörnt“** Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1 „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

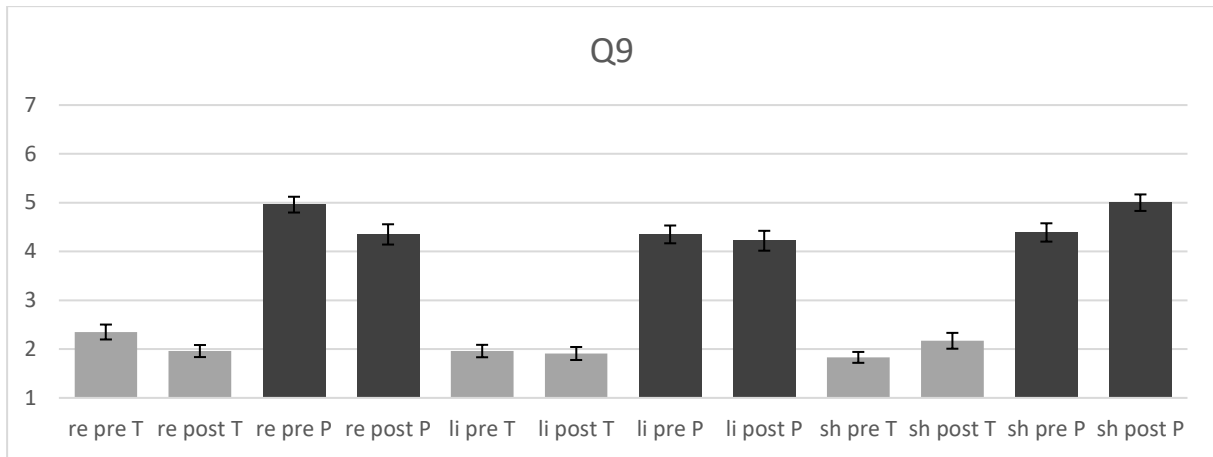


Abbildung 21: **Q9** „Verlangen nach sexueller Aktivität mit einem Partner“ Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1 „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

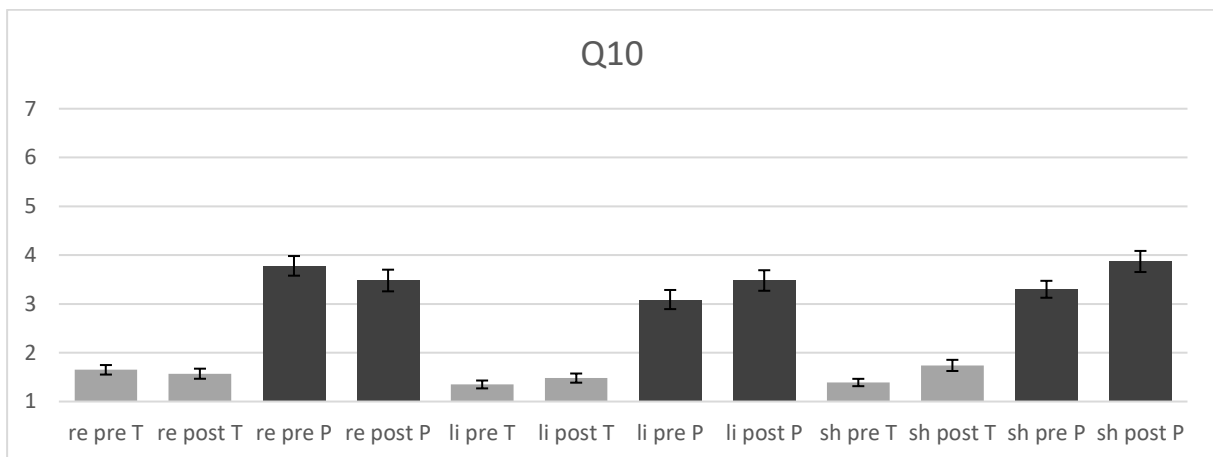


Abbildung 22: **Q10** „Verlangen zu masturbieren“ Rating-Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P), wobei 1 „überhaupt nicht“ und 7 „intensiv“ entspricht. re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

Tabelle 1: Haupteffekt „Video“ (Tennis- vs. Pornovideo) für Q1 bis Q10

	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Q 7	Q 8	Q 9	Q 10
F	25.169	28.955	93.696	161.046	79.663	126.034	43.535	110.356	81.810	51.381
df	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabelle 2: Dreifachinteraktionseffekt Stimulationsort\*tDCS\*Video für Q1 bis Q10

	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Q 7	Q 8	Q 9	Q 10
F	2.602	0.408	0.510	0.102	0.164	0.660	3.271	0.430	0.688	0.599
df	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
p	0.085	0.668	0.604	0.904	0.850	0.522	<b>0.047</b>	0.653	0.508	0.554

Des Weiteren zeigten die ANOVAs mit der unabhängigen Variable „Zeit“ (erster vs. zweiter vs. dritter Versuchstag) und den abhängigen Variablen „Rating-Mittelwerte Pornovideo Q1 bis Q10 vor tDCS“ einen Haupteffekt „Zeit“ für alle Ratingfragen außer Q5 („Erektion“), wobei das Rating des Pornovideos mit jeder Sitzung geringer wurde, s. Tabelle 3.

Tabelle 3: Haupteffekt Zeit (erster vs. zweiter vs. dritter Versuchstag)

	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Q 7	Q 8	Q 9	Q 10
F	17.451	8.600	9.443	4.548	1.486	12.087	6.037	13.196	9.444	3.769
df	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
p	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.016</b>	<b>0.237</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.005</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.031</b>

### 3.4 Post-hoc t-Tests zu Q7

Post-hoc t-Tests verglichen die Rating-Mittelwerte von Q7 („sinnlich“) für das Tennis- und das Pornovideo vor vs. nach tDCS.

Tabelle 4: t-Tests zu Q7 für den Vergleich vor vs. nach Stimulation

	<b>Tennisvideo</b> vorher vs. nachher	<b>Pornovideo</b> vorher vs. nachher
rechts	T=0.549; df=22; p=0.589	T=1.686; df=22; p=0.106
links	T=0.826; df=22; p=0.418	T=-1.226; df=22; p=0.233
sham	T=-0.826; df=22; p=0.418	T=-2.868; df=22; p= <b>0.009</b>

Das Pornovideo war nach Scheinbehandlung mit einem signifikant höheren Rating-Mittelwert (mehr SV) behaftet als vor der Behandlung ( $T=-2.868$ ;  $df=22$ ;  $p=0.009$ ), s. Tabelle 4 und Abbildung 19. Nach rechtsseitiger tDCS wurde es nicht-signifikant niedriger bewertet als vor der Stimulation ( $T=1.686$ ;  $df=22$ ;  $p=0.106$ ) und bei linksseitiger tDCS fielen die Rating-Mittelwerte nach Stimulation minimal höher aus als vor Stimulation, s. Tabelle 4 und Abbildung 19.

Weitere Post-hoc t-Tests verglichen die Rating-Mittelwerte von Q7 für das Tennis- und das Pornovideo basierend auf dem Stimulationsort:

Beim Tennisvideo unterschieden sich die Rating-Mittelwerte sowohl vor, als auch nach tDCS für keine der Bedingungen (rechts vs. links bzw. rechts vs. sham bzw. links vs. sham) statistisch signifikant, s. Abbildung 19 und Tabellen 7 bis 9 (Anhang).

Beim Pornovideo unterschieden sich die Rating-Mittelwerte vor tDCS für keine der Bedingungen (rechts vs. links bzw. rechts vs. sham bzw. links vs. sham) statistisch signifikant. Nach rechtsseitiger tDCS spiegelten die Rating-Mittelwerte tendenziell geringeres SV wider als nach Scheinbehandlung ( $T=-1.974$ ;  $df=22$ ;  $p=0.061$ ) und nicht signifikant geringeres SV als nach linksseitiger tDCS. Nach linksseitiger tDCS waren die Rating-Mittelwerte nicht signifikant niedriger als nach Scheinbehandlung, s. Abbildung 19 und Tabellen 7 bis 9 (Anhang).

In der Summe liegen hier statistische Hinweise vor, dass das SV nach anodaler tDCS über dem rechten DLPFC im Vergleich zu Scheinstimulation über Fz gemessen an Q7 reduziert ist.

Da das Signifikanzniveau allerdings nicht für multiple Vergleiche korrigiert wurde, kann es sich auch um einen Fehler erster Art handeln. Der hier gefundene signifikante Effekt in einer von zehn Fragen muss also mit Vorsicht interpretiert werden.

Ein Zusammenfassen der Items Q4, Q6, Q9 und Q10, bei welchen das SV gleichermaßen nach anodaler tDCS über dem rechten DLPFC gesunken und nach Scheinstimulation erhöht war, erreichte ferner keine statistische Signifikanz.

### 3.5 HR und HRV

Für die abhängigen Variablen „HRV-Maße“ inklusive der HR als „MeanHR“ zeigten die Varianzanalysen mit den unabhängigen Variablen „Stimulationsort“ (rechts vs. links vs. sham), „tDCS“ (vor vs. nach tDCS) und „Video“ (Tennis- vs. Pornovideo) einen Haupteffekt „Video“ für die MeanHR und die HFpowFFT: Das Pornovideo war unter allen Bedingungen mit einer

signifikant höheren MeanHR ( $F=7.405$ ;  $df=1,22$ ;  $p=0.012$ ) und einer signifikant niedrigeren HFpowFFT ( $F=8.619$ ;  $df=1,22$ ;  $p=0.008$ ) assoziiert als das Tennisvideo, s. Tabelle 5 und Abbildungen 23 bis 26.

Tabelle 5: Haupteffekt „Video“ (Tennis- vs. Pornovideo) für die Maße der HRV inklusive der HR als „MeanHR“

	MeanHR	SDNN	LFpowFFT	HFpowFFT
F	7.405	1.475	1.293	8.619
df	1,22	1,22	1,22	1,22
p	<b>0.012</b>	0.237	0.268	<b>0.008</b>

Unter den Maßen der HRV zeigte sich kein Dreifachinteraktionseffekt Stimulationsort\*tDCS\*Video, s. Tabelle 6.

Tabelle 6: Interaktionseffekt Stimulationsort\*tDCS\*Video für die Maße der HRV inklusive der HR als „MeanHR“

	MeanHR	SDNN	LFpowFFT	HFpowFFT
F	0.042	0.165	0.416	0.910
df	2,44	2,44	2,44	2,44
p	0.959	0.849	0.662	0.410

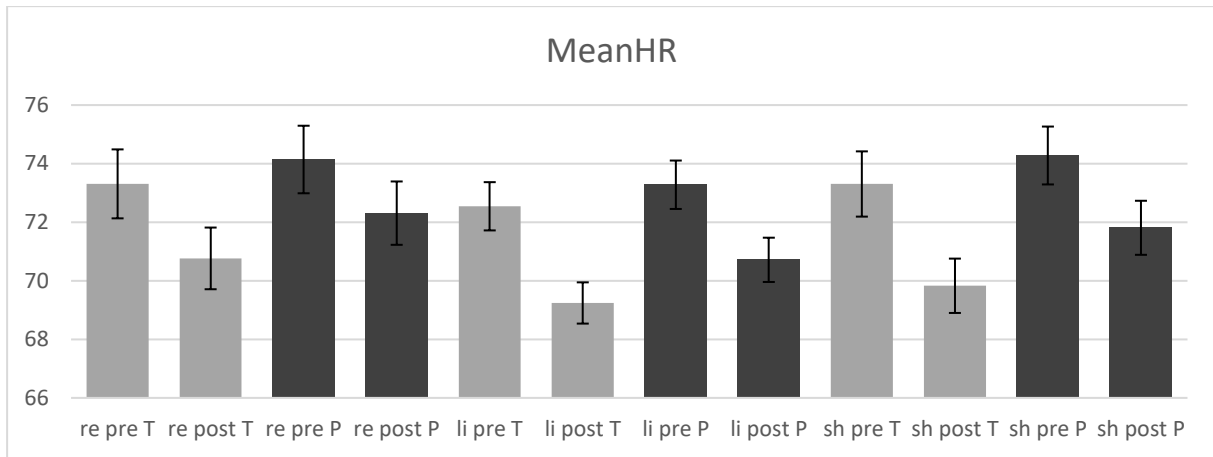


Abbildung 23: **MeanHR** Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P). re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

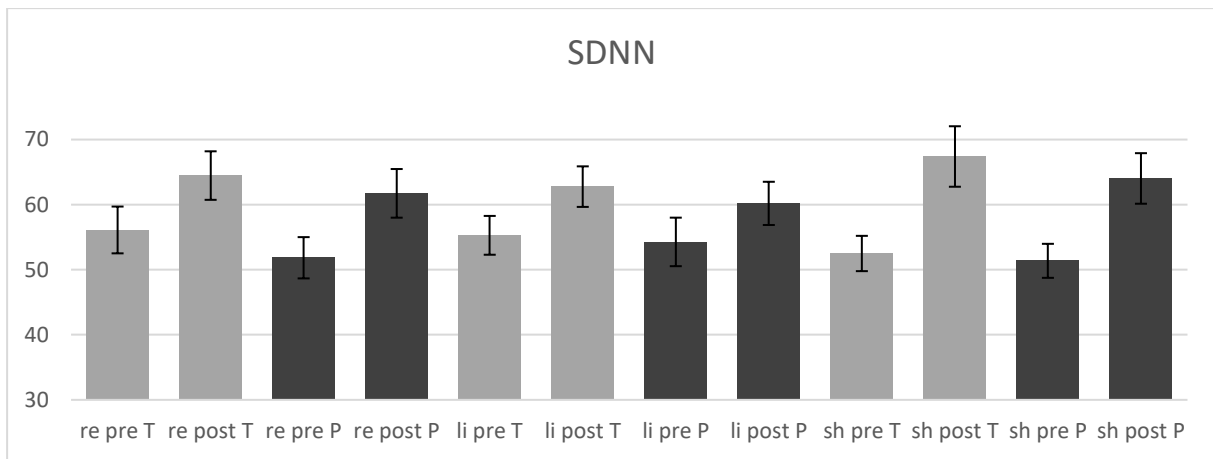


Abbildung 24: **SDNN** Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P). re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

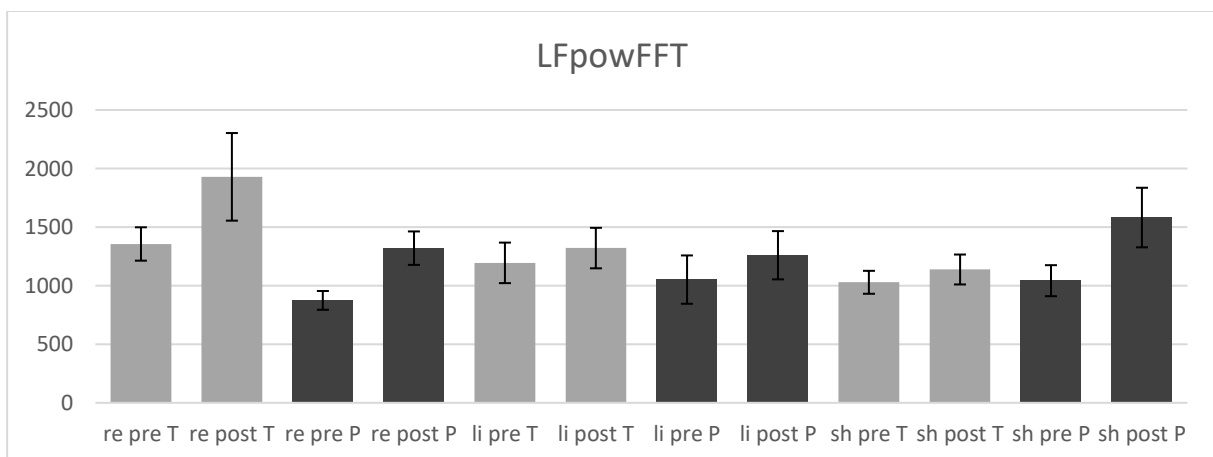


Abbildung 25: **LFpowFFT** Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P). re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS



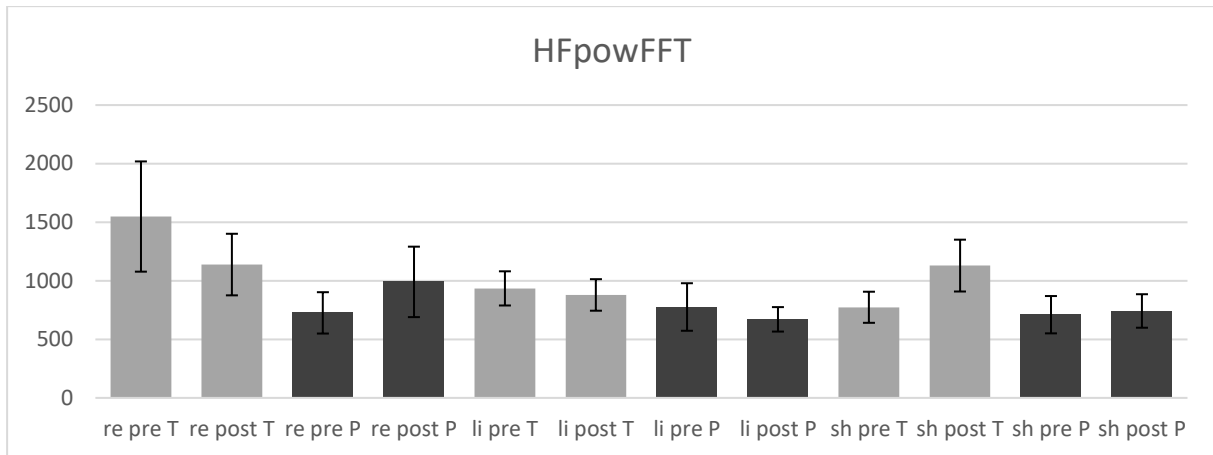


Abbildung 26: **HFpowFFT** Mittelwerte mit Standardfehlern für Tennisvideo (T) und Pornovideo (P). re=rechts li=links sh=sham pre=vor tDCS post=nach tDCS

### 3.6 Korrelation zwischen SV und HR bzw. HRV

Die Korrelationsanalyse nach Pearson ergab keine signifikante Korrelation zwischen SV (gemessen an den Rating-Mittelwerten von Q1 bis Q10) und der HR bzw. den HRV-Maßen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit der vorliegenden Studie bei gesunden männlichen Probanden wurde unseres Wissens erstmals untersucht, ob tDCS des DLPFC sexuelles Verlangen (SV) kurzfristig beeinflussen kann. Dazu erhielten Probanden an drei verschiedenen Versuchstagen im Abstand von je einer Woche echte tDCS über dem rechten und dem linken DLPFC, sowie eine Scheinstimulation mediofrontal. Im Anschluss an Bildschirmpräsentationen mit nicht-sexuellem sowie sexuell explizitem Filmmaterial wurde der entstandene Grad an SV mittels einerseits anonym zu bewertenden Aussagen (zehn sog. Ratingfragen, die die Probanden anhand einer numerischen Ratingskala bewerteten) und andererseits Aufzeichnung der HR und der HRV bestimmt.

Wir konnten nicht eindeutig zeigen, dass wir SV mittels den von uns eingesetzten Verfahren modulieren können.

Denn nur bei einer von zehn Ratingfragen (Q7) und bei keinem Maß für die Aktivität des autonomen Nervensystems zeigten sich signifikante Dreifachinteraktionen (Sitzung mit rechtsseitiger vs. linksseitiger vs. Scheinstimulation  $\times$  pre vs. post tDCS  $\times$  Tennis- vs. Pornovideo), wobei reizinduziertem SV nach anodaler tDCS des rechten DLPFC im Vergleich zu Scheinbehandlung vermindert war. Nach Scheinstimulation war im Vergleich vor zu nach tDCS der Ratingwert für das Pornovideo (der das subjektiv empfundene Maß an SV ausdrückte) signifikant gestiegen, wobei nach rechtsseitiger tDCS der Wert tendenziell geringer ausfiel und nach linksseitiger tDCS praktisch unverändert blieb. Ferner zeigten sich bei keinen Maßen der HRV signifikante Dreifachinteraktionen. SV und HR bzw. HRV korrelierten nicht.

### 4.2 Unannehmlichkeit der tDCS

Im Allgemeinen ist die Unannehmlichkeit der tDCS in der vorliegenden Versuchsreihe als niedrig einzustufen. Die mittleren Werte auf einer visuellen Analogskala von 0 bis 10 (kein bis stärkster vorstellbarer Schmerz) betragen von 1.87 (Scheinstimulation) über 2.70 (linksseitige tDCS) bis 3.35 (rechtsseitige tDCS). Die Scheinstimulation wurde signifikant weniger unangenehm empfunden als beide Verum-Stimulationen.

Unsere Ergebnisse parallelisieren die einer Studie, in der über 30 Minuten 2 mA-starke tDCS über dem Frontalkortex bei Probanden zweier Altersgruppen appliziert wurde: Die erste Gruppe setzte sich zusammen aus Personen zwischen 19 und 29 Jahren, die zweite aus Personen

zwischen 63 und 76 Jahren (Wallace et al. 2016). Die Gruppe jüngerer Probanden – welche unserem Alterskollektiv ähnelte (mittleres Alter  $21.93 \pm 2.7$  vs.  $23.39 \pm 2.66$  in der vorliegenden Studie) – empfand wie auch unsere Probanden die Verum-Stimulation signifikant unangenehmer als die Scheinstimulation (Wallace et al. 2016). In der älteren Probandengruppe zeigte sich dieser Effekt nicht (Wallace et al. 2016). Dass die von uns ermittelten Werte für Unannehmlichkeit bei einem älteren Probandenkollektiv womöglich noch niedriger ausgefallen wären, lassen auch weitere Arbeiten vermuten, welche die niedrigere Empfindlichkeit gegenüber einer tDCS bei älteren Menschen beschrieben (Fertonani et al. 2015; Wallace et al. 2016; Kessler et al. 2012; Gandiga et al. 2006). Sie könne an altersbezogenen Unterschieden in der Hautleitfähigkeit oder Hautdichte, an der Funktionalität kleiner Nervenendigungen, oder aber an der verminderten Bereitschaft älterer Personen liegen, Unannehmlichkeit anzugeben (jüngere Probanden würden dazu tendieren, sich diesbezüglich früher zu beschweren) (Kessler et al. 2012). Andere Forscher wiederum lehnen die These unterschiedlicher Hautleitfähigkeit ab und postulieren anstatt dessen generelle Dysfunktionen im peripheren und/oder zentralen Nervensystem bei älteren Menschen (Kemp et al. 2014).

Auch in der Arbeit von Russo und Kollegen (die über 30 Minuten eine Stromstärke von 2 mA applizierten) wurde die Sham- gegenüber der Verum-tDCS als signifikant angenehmer empfunden (Russo et al. 2013). Überdies stellten die Forscher eine höhere Inzidenz an stimulationsbedingten unangenehmen Hautempfindungen bei Verwendung kleinerer Elektroden (und damit erhöhter Stromdichte) fest, was wiederum Einklang findet mit früheren Arbeiten: Eine erhöhte Stromdichte, welche über ein tieferes Eindringen des induzierten Magnetfeldes zu ausgeprägteren Effekten führt, steigert die kutane Schmerzempfindung (Russo et al. 2013; Dissanayaka et al. 2017).

Ergebnisse von Fertonani et al. kontrastieren dies. Sie zeigten, dass eine größere Elektrodenauflagefläche mit stärkeren bzw. eine kleinere mit schwächeren Empfindungen assoziiert ist – obwohl die Stromdichte durch das Erhalten derselben Stromstärke verringert bzw. vergrößert wird (Fertonani et al. 2015). In Anlehnung an Martinsen et al. schlugen Fertonani und Kollegen als Grund eine Mehr-Aktivierung an sensorischen Einheiten der Kopfhaut vor (Martinsen et al. 2004). Empfindungen seien laut ihnen nicht abhängig von der applizierten Stromdichte (Fertonani et al. 2015; Martinsen et al. 2004).

In der Zusammenschau lässt sich festhalten, dass eine Möglichkeit zur Verringerung der unangenehmen Empfindungen auf der Haut unter Umständen eine weitere Reduktion der

Fläche der stimulierende Elektrode unter Erhaltung der Stromdichte wäre – analog der bereits im Methodenteil (vgl. 2.2.4.3) erwähnten Vorgehensweise (Nitsche et al. 2007).

In der vorliegenden Studie gelang es nicht, das erwünschte ähnliche Maß an Unannehmlichkeit bei Sham, als auch rechter und linker tDCS zu reproduzieren, von dem in anderen Arbeiten berichtet wird, die am DLPFC mit derselben Stimulationsintensität und -dauer operierten und ebenfalls zwei echte und eine Sham-Sitzung wählten (Fregni et al. 2008a; Fregni et al. 2008b; Boggio et al. 2008b).

Bei Versuchen, in denen über 20 Minuten mit 2 mA Stromstärke Verum- und Sham-tDCS über dem DLPFC (Anode rechts, Kathode links) vorgegangen wurde, wurde ein Gesamtwert an Unannehmlichkeit von  $2.64 \pm 2.51$  auf einer visuellen Analogskala von 0 bis 10 festgestellt (Kekic et al. 2014). Würde man die Werte der drei einzelnen Sitzungen bei der vorliegenden Arbeit ebenfalls mitteln, ergäbe sich interessanterweise auch ein Mittelwert von 2.64 für den Grad an gesamter Unannehmlichkeit; dieses Vorgehen hält jedoch die entscheidende Information eines Unterschieds zwischen Verum- und Scheinstimulation in Bezug auf diesen Wert zurück.

Es scheint, als käme dem Platzierungsort der stimulierenden Elektrode (d. h. der Anode) im Kontext der Unannehmlichkeit des Verfahrens eine zentrale Bedeutung zu. Ein gängiger Platzierungsort der Kathode (bei Anoden-Platzierung über einem DLPFC) ist der kontralateralen DLPFC – auch bei Sham-Bedingung (Kekic et al. 2014; Boggio et al. 2008a; Boggio et al. 2008b; Fregni et al. 2008a; Fregni et al. 2008b). Im Gegenzug wurde bei der vorliegenden Arbeit die Anode bei der Scheinbedingung mediofrontal positioniert. Möglicherweise reagierte hierbei die mittige Stirnhaut weniger empfindlich auf die Stimulation als jene über dem DLPFC, welche sich unmittelbar in der Nähe der sensiblen Schläfen befindet. Dieser Umstand könnte die in unseren Versuchen als signifikant weniger unangenehm empfundene Scheinstimulationen erklären und muss bei zukünftigen Untersuchungen mit einbezogen werden, vgl. 4.10.4.

Dass die beiden echten tDCS-Sitzungen in unseren Untersuchungen statistisch gesehen gleich unangenehm wahrgenommen wurden, könnte ungünstigerweise Einfluss auf die Ratings gehabt oder aber mit der Selbstwirksamkeit des Verfahrens interagiert haben – wobei sich Letztgenanntes nicht bestätigte (vgl. 4.3).

### 4.3 Verblindung der tDCS

Der Aspekt der Verblindung in der vorliegenden Arbeit stellte sich kontrovers dar.

Für deren Gelingen spricht zunächst, dass der größte Teil unserer Probanden (16 der 23, entsprechend 69.7%), die initiale Frage, ob es ihrer Meinung nach eine Scheinbehandlung gegeben habe, verneinten. Dieser Anteil ging also nicht bereits im Vorfeld von einer Sham-Sitzung aus und/oder nahm keine der Behandlungen unmittelbar und deutlich verschieden von den anderen beiden wahr. Ob bereits vor Studienteilnahme von einer Sham-Sitzung ausgegangen wird, kann damit zusammenhängen, wie ausführlich sich der betreffende Proband in seiner Vergangenheit mit wissenschaftlichen Versuchen auseinandergesetzt hat. Beispielsweise ist es möglich, dass eine Versuchsperson, welche zuvor schon an anderen Studien teilnahm, um das häufige Testen gegen Placebo weiß. Genauso könnte eine Person aufgrund ihres akademischen Hintergrundes (21 unser 23 Probanden, entsprechend 91.3%, waren Abiturienten) und damit ihrer Kenntnis wissenschaftlicher Studiensettings eine Placebo-Bedingung vermuten.

Ein weiterer Punkt, der für das Gelingen der Verblindung spricht, ist die Selbstwirksamkeit des Verfahrens. Die Mehrzahl unserer Probanden (14, entsprechend 60.9%) war der Meinung, dass ihr SV durch die Scheinstimulation beeinflusst worden war. Bei linksseitiger tDCS tippten 13 Versuchspersonen (entsprechend 56.5%) auf eine Beeinflussung, bei rechtsseitiger tDCS zehn (entsprechend 43.5%). Diese Werte unterschieden sich jedoch nicht signifikant von der Ratewahrscheinlichkeit von 50%.

Die folgenden Aspekte sprechen andererseits gegen eine gelungene Verblindung. Bei der vorliegenden Studie errieten drei derjenigen sieben Studienteilnehmern (entsprechend 42.9%), welche ursprünglich eine Scheinbehandlung vermutet hatten, diese richtig. Ferner tippten 13 der insgesamt 23 Versuchspersonen (entsprechend 56.5%) auf die richtige Sitzung, als sie gefragt wurden, welche Sitzung die Scheinbehandlung enthalten habe. Dies entspricht jeweils mehr als das zu erwartende Drittel durch reine Ratewahrscheinlichkeit. Eine Untersuchung von Goldman et al. ergab einen noch höherer Anteil an Probanden (79%), die die richtige Sitzung als Scheinsitzung identifizierten; in dieser wurde der PFC an zwei Sitzungen (einer echten und einer sham) mit der auch in unserer Studie gewählten Intensität und Dauer stimuliert (Goldman et al. 2011). Im Unterschied zu unserer Arbeit tippten 73% der richtig ratenden Probanden angeblich nicht aufgrund eines unterschiedlichen Empfindens der tDCS, sondern aufgrund subjektiv wahrnehmbarer Veränderungen im Grad ihres Cravings auf die richtige Antwort (Goldman et al. 2011). Bei unserer Arbeit war zumeist ein Verspüren von weniger Hautkribbeln

unter der Stirnelektrode der Grund für das richtige Erraten der Scheinbehandlung (sieben der 13 richtig ratenden Probanden, entsprechend 53.8%). Nur ein Studienteilnehmer meinte, jene Sitzung habe sein SV weniger beeinflusst als die anderen beiden Sitzungen.

Dass echte tDCS gegenüber Scheinstimulation mehr Hautempfindungen hervorrufen kann, ist gut dokumentiert. So zeigten Fertonani und Kollegen, dass bei allen Stromstärken, die sie in ihren Experimenten testeten (welche bei 2 mA oder niedriger lagen), anodale tDCS geringfügig, wenn auch nicht signifikant, mehr Hautsensationen hervorrief als Scheinstimulation (Fertonani et al. 2015). Daraus formulierten sie die These, dass das derzeit angewandte Vorgehen bei Scheinbehandlung möglicherweise nicht vollständig effektiv sei (Fertonani et al. 2015). Bei Stromstärken von 1.5 mA berichten auch andere Forscher von häufigerem und intensiverem Hautkribbeln unter der stimulierenden Elektrode bei echter als bei Sham-Stimulation (Kessler et al. 2012). Diese deutlichen Unterschiede in der sensorischen Wahrnehmung von Verum gegenüber Scheinstimulation erschweren laut Davis und Kollegen eine Verblindung einer Studie im Cross-over-Design – wie sie auch bei uns vorlag (Davis et al. 2013). Mit dem gängigen Vorgehen, bei der Sham-Bedingung lediglich die rampenförmige Fade-in-Phase durchzuführen und das tDCS-Gerät anschließend auszuschalten, werde eine Verblindung laut ihnen schon ab Stromstärken von über 1 mA problematisch (Davis et al. 2013).

O'Connell et al. schließen sich diesen Forderungen an; sie postulieren, dass eine Verblindung einer Scheinstimulation in tDCS-Studien, welche mit 2 mA Stromstärke verfahren, generell inadäquat bzw. mangelhaft sei (O'Connell et al. 2012). Bis zu 89% der Probanden ihrer Studie errieten richtig, ob es sich bei der jeweiligen Sitzung um Sham- oder um echte tDCS gehandelt hatte (O'Connell et al. 2012). Im Unterschied zu unserem Versuchsaufbau wurde die Anode bei ihren Experimenten über dem rechtem Motorkortex und die Kathode über der linken Supraorbitalregion angebracht (O'Connell et al. 2012). O'Connell und Kollegen gehen davon aus, dass die unterschiedlichen sensorischen Empfindungen von aktiver versus Sham-tDCS für die eingeschränkte Verblindung verantwortlich gewesen waren, da einige Probanden, als sie nach eventuellen Nebenwirkungen gefragt wurden, ein kontinuierliches Jucken oder Kribbeln bei Verum-Stimulation (nicht aber bei Sham) angaben (O'Connell et al. 2012).

Eine mögliche Herangehensweise, um somatosensorische Empfindungen möglichst ganz zu verhindern und somit eine bessere Verblindung zu erreichen, sei laut Nitsche et al. der Einsatz von Lokalanästhetika an den Kontaktstellen der Elektroden zur Haut (Nitsche et al. 2008).

Die Befürchtung, dass das Bewusstwerden unterschiedlich starker Hautrötung unter der Anode bei aktiver gegenüber Scheinstimulation die Verblindung beeinträchtigen könnte (vgl. 4.4), konnte bei unseren Versuchen nicht bestätigt werden (Brunoni et al. 2014; O'Connell et al. 2012). Keiner unserer Probanden nannte den Grad der Hautrötung als Kriterium, warum er welche Sitzung als Schein- bzw. Verum-Stimulation vermutete.

Insgesamt waren unsere Probanden also aufgrund weniger unangenehmen Hautkribbelns bei Scheinbehandlung in der Lage, diese von den echten Stimulationen zu einem höheren Anteil zu unterscheiden als statistisch zu erwarten war und in der Vergangenheit gezeigt wurde (Kekic et al. 2014; Palm et al. 2013). Damit hatte die hier angewandte tDCS-Montage keine adäquate Verblindung als Folge und sollte bei zukünftigen Untersuchungen entsprechend modifiziert bzw. überarbeitet werden, s. 4.10.

#### 4.4 Nebenwirkungen

Aufgrund der geringen Nebenwirkungen ist das verwendete Verfahren für Studien- oder auch Behandlungszwecke als äußerst sicher einzustufen.

Gemäß zahlreichen Wissenschaftlern ist die häufigste Nebenwirkung der tDCS ein als harmlos einzustufendes Hautkribbeln unter der Stirnelektrode; dieses wurde auch von den Probanden der vorliegenden Studie in den ersten Sekunden der Applikation empfunden (Hummel et al. 2005; Poreisz et al. 2007; Nitsche et al. 2003; Falcone et al. 2016; Kessler et al. 2012; Boggio et al. 2008b; Brunoni et al. 2011; Fertonani et al. 2015; Boggio et al. 2010b).

Leichte Hautrötungen unter den Elektroden gehören neben der in Kapitel 4.2 erwähnten allgemeinen Unannehmlichkeit zu den am häufigsten dokumentierten Problemen der tDCS (Brunoni et al. 2012; Nitsche et al. 2008; Bikson et al. 2009). Diese typischen Irritationen sind nicht als Zeichen einer Hautläsion zu werten, sondern höchstwahrscheinlich auf eine lokale Vasodilatation zurückzuführen (Durand et al. 2002; Fertonani et al. 2015). Bei den vorliegenden Versuchen wurden bei fünf der insgesamt 69 Sitzungen (entsprechend 7.2%) eine leichte Hautrötung unter der Stirnelektrode verzeichnet, und zwar nur im Falle aktiver tDCS (bei zwei der 23 Probanden nach der Sitzung rechtsseitiger tDCS und bei drei nach der mit linksseitiger tDCS). Eine Arbeit von Brunoni et al. parallelisiert unsere Ergebnisse in zweierlei Hinsicht: Zum einen wurden Hautrötungen nur bei Verum-Stimulation beobachtet und zum anderen waren die Hautrötungen nicht der Grund für das richtige Erraten der Scheinstimulation, vgl. 4.3 (Brunoni et al. 2014). Der berichtete Anteil an Hautrötungen in der Literatur divergiert

jedoch teils erheblich. O'Connell und Kollegen dokumentierten Hautrötungen unter der Stirnelektrode bei 60% ihrer Verum- und nur einem Prozent der Sham-Sitzungen (O'Connell et al. 2012). Zu erwähnen ist, dass bei jenen Versuchen die Kathode (also die Referenzelektrode) jedoch supraorbital angebracht war, während sich die stimulierende Anode über dem Motorkortex befand (O'Connell et al. 2012). Ezquerro et al. zeigten wiederum, dass Hautrötungen zwar auch bei den Sham-Sitzungen vorhanden waren, jedoch signifikant weniger stark ausgeprägt waren als bei Verum-Stimulation (Ezquerro et al. 2017). Auch Palm et al. verzeichneten signifikant häufigere Hautrötungen bei aktiver versus Scheinstimulation (Palm et al. 2013). Demgegenüber wurden auch schon Werte von 5% bei aktiver tDCS und 10% bei Sham-Stimulation beobachtet (Boggio et al. 2008a).

Ob eine Hautirritation vorlag oder nicht, wurde in der vorliegenden Arbeit vom Versuchsleiter beurteilt. Die Probanden äußerten keinerlei subjektiver Beschwerden, und speziell keine, welche sich direkt auf die Hautrötungen hätten zurückführen lassen können. Generell können die Rötungen durch eine ungleichmäßige Stromverteilung an den Elektrodenflächen hervorgerufen werden, bedingt durch individuelle Unterschiede in der Kopfform und/oder ein zu festes Anpassen der Gummibänder zur Elektrodensicherung (Horvath et al. 2014; Wallace et al. 2016). Speziell können Fixierungs-Gummibänder, welche schmaler als die Elektroden sind (wie es auch in unseren Experimenten der Fall war), zu einer Anhebung der Elektrodenecken führen, was wiederum eine inhomogenen Stromverteilung unter der Elektrode mit sich bringt (Horvath et al. 2014; Wallace et al. 2016). Bei unserem Versuchsaufbau (vgl. Abb. 3 bis 6), bei dem die Fixierungsbänder bei Verum-tDCS (nicht aber bei Sham-Stimulation) diagonal über die Elektrode verliefen, ist dies denkbar (Abheben derjenigen zwei Elektrodenecken, welche nicht vom Fixierungsband überdeckt werden) und könnte ein Grund für Hautrötungen gewesen sein.

Die Tendenz zur Hautrötung durch tDCS kann auch mit der Menge an Kopfhaar zusammenhängen, welche sich unter der stimulierenden Elektrode befindet (Iyer et al. 2005). So beobachtete man, dass Personen mit frisch rasierter Kopfhaut empfindlicher reagierten (Iyer et al. 2005). Als limitierend ist diesbezüglich in unserer Arbeit das Fehlen der interessanten Information zu nennen, ob die stimulierende Elektrode bei den einzelnen Sitzungen direkt Kontakt mit der Kopfhaut hatte oder sich Kopfhaar darunter befand. Wir achteten jedoch in Anlehnung an Fertoni und Kollegen stets streng darauf, dass eine gute Leitfähigkeit zwischen Haut und Elektrodenfläche (mittels einer niedrigen Impedanz) anhand ausreichender



Applikation von Salzlösung an den Elektrodenschwämmchen gewährleistet war (Fertonani et al. 2015).

In der Summe sehen wir die Empfehlung von Fertonani und Kollegen, ein elastisches Netz zur optimalen Fixierung der Elektroden(-flächen) am Schädel zu verwenden, als äußerst sinnvoll an und können uns dieser anhand unserer gewonnenen Erkenntnisse anschließen (Fertonani et al. 2015).

Zuletzt zu erwähnen ist das in vielen Arbeiten berichtete transiente Auftreten von Kopfschmerzen im Zusammenhang mit echter und/oder Sham-tDCS (Boggio et al. 2008b; Boggio et al. 2008a; Fregni et al. 2008a; Fregni et al. 2008b; Kekic et al. 2014; Falcone et al. 2016; Kessler et al. 2012; Brunoni et al. 2011; Poreisz et al. 2007). Dies war in der vorliegenden Studie bei keiner einzigen Sitzung der Fall.

Somit wird die vorliegende Arbeit den Forderungen gerecht, dass die tDCS im Allgemeinen ein sicheres, kostengünstiges und leicht handhabbares Instrument zur Hirnstimulation darstellt (Poreisz et al. 2007; Gandiga et al. 2006; Nitsche et al. 2003; Iyer et al. 2005). Diese Behauptungen können mit den hier vorliegenden Daten auch speziell auf die von uns eingesetzte Stimulationsintensität und -dauer ausgeweitet werden.

#### 4.5 Messverfahren zur Quantifizierung von SV

In den vorliegenden Experimenten wurden zur Quantifizierung des induzierten SV einerseits subjektiv zu bewertende Angaben (zehn Ratingfragen) und andererseits Veränderungen zu bestimmten physiologischen Parametern (HR und HRV) erhoben.

Zu Selbsteinschätzungs-Daten konnte in der Vergangenheit gezeigt werden, dass ein anonymisiertes Vorgehen sowie der Einsatz männlicher Probanden – was beides für unsere Studie zutrif – für die Validität der erhobenen Daten sprechen (Durant et al. 2002). Laut Rutter et al. wird zudem dazu tendiert, bei sozial heiklen Themen wie beispielsweise Drogenabusus tatsächlich der Wahrheit entsprechend zu antworten oder sogar geringere Angaben zu machen (Rutter et al. 1998). Dies befürwortet die Qualität der von unseren Probanden generierten Daten zur Selbsteinschätzung in den zehn Ratingfragen.

Physiologische Veränderungen sind naturgemäß kognitiv weniger manipulierbar und somit objektiver als aus subjektiven Einschätzungen resultierenden Angaben. Dies kann sich bei intimen Fragestellungen selbst bei möglichst wahrheitsgetreuer Beantwortung nur als

vorteilhaft erweisen. Überdies korrelieren Selbsteinschätzungsangaben zu sexueller Erregung bei Männern zwar stärker als bei Frauen, jedoch trotzdem nicht in hohem Maße mit genitaler Erregung (Chivers et al. 2010). Auch bleibt zu beachten, dass unserer Probanden zwar laut dem im Vorfeld erhobenen SSE nicht dazu tendierten, auf intime Fragen sozial erwünscht zu antworten; dennoch kann man nicht absolut ausschließen, dass ein gewisses Maß an Schamgefühl nicht zu einer geringen Scheu vor dem ehrlichen Beantworten der Fragen führen könnte. Aus diesem Grund wählten wir HR und HRV als Repräsentanten vegetativer Aktivität bei sexueller Erregung (Stanton et al. 2015).

#### 4.6 Eingesetzte Belohnungsreize

Pornografische Videos stellen ein häufig genutztes sexuelles Reizmedium unter jungen Männern dar (Svedin et al. 2011; Lam und Chan 2007; Wallmyr und Welin 2006). In der vorliegenden Studie wählten wir ein Pornovideo, welches nicht in besonderem Maße auf bestimmte sexuelle Vorlieben oder Interessen abzielte, um möglichst alle Versuchspersonen zu einem gewissen Grad sexuell zu erregen.

Der Haupteffekt „Video“, welcher zeigte, dass das Pornovideo unter sämtlichen Bedingungen gemessen an den Ratingfragen Q1 bis Q10 höher bewertet wurde als das Tennisvideo, bestätigt, dass das verwendete Pornovideo verglichen mit dem Tennisvideo zuverlässig SV induzierte.

Die Post-hoc t-Tests zu Q7 zeigten, dass das Tennisvideo unter keiner Bedingung vor oder nach Stimulation signifikant unterschiedlich bewertet wurde; somit stellte das Tennisvideo eine zuverlässige neutrale Kontrolle dar.

An dieser Stelle sei ein kürzlich erschienener Survey genannt, der 40 Bildgebungsstudien untersuchte, welche – wie wir – visuelle sexuelle Stimuli (VSS) einsetzten: Die Autoren postulieren, dass ein VSS entweder als Reiz oder aber bereits als Belohnung zu interpretieren sei (Gola et al. 2016). Die Einteilung sei danach vorzunehmen, ob der VSS im Alltag (Bsp.: der Sexualpartner oder ein zuhause angesehenes Pornovideo) oder im Labor, wie bei einer medizinischen Studie, zur Verfügung steht bzw. eingesetzt wird (Gola et al. 2016).

Demnach sei ein VSS bei einer Studie, ähnlich wie beim Besuch eines Stripclubs, bereits als Belohnung zu sehen – was nicht zu weiterem SV führt, da sexuelle Handlungen, wie die Annäherung an einen Partner oder die Selbstbefriedigung, in diesen Settings nicht möglich sind (Gola et al. 2016).

Dem gegenüber stehen laut Gola und Kollegen die Alltagssituationen, in denen der VSS als Reiz zu sehen ist, auf welchen erst eine Belohnung folgt (z. B. in Form eines Orgasmus): Sieht eine Person einen attraktiven Partner, kann das zu „dyadic sexual desire“ („SV mit Partner-Interaktion“) führen (vgl. Spector et al. und Kuhn et al.), was schließlich z. B. via Sex mit dem Partner im Orgasmus enden kann; ebenso kann ein Pornovideo zu „solitary sexual desire“ („SV ohne Partner-Interaktion“) führen, was schließlich z. B. via Masturbation ebenfalls im Orgasmus enden kann (Gola et al. 2016; Spector et al. 1996; Kuhn et al. 2014). Erst der Orgasmus stellt in diesen Fällen die Belohnung dar (Gola et al. 2016).

Der dargelegte Sachverhalt könnte eine Erklärung dafür sein, dass unsere zehn Ratingfragen, welche auf SV abzielten, in ihrer Gesamtheit nur durchschnittlich hoch bewertet wurden (s. Abb. 13 bis 22) und somit gegebenenfalls indirekt auch dafür, dass nur eine Ratingfrage signifikante Dreifachinteraktionen aufwies. Möglicherweise wurden die von uns eingesetzten VSS gemäß Gola und Kollegen bereits als „Belohnung“ wahrgenommen und haben aufgrund des laborähnlichen Settings im Allgemeinen nicht viel SV erzeugen können und im Speziellen nicht mehr genug, um signifikante Ergebnisse zu generieren (Gola et al. 2016).

#### 4.7 Ratingwerte und Post-hoc t-Tests

Die vorliegenden Versuche gaben Hinweise darauf, dass SV nicht zuverlässig durch anodale tDCS über dem DLPFC verändert werden kann. Die statistischen Tests zeigten, dass das normale Verhalten (Scheinstimulation) bei wiederholtem Ansehen des Pornovideos zu einem signifikanten Anstieg des SV gemessen an Q7 führte. Verum-Stimulationen (über rechtem oder linkem DLPFC) reduzierten den Anstieg, da dieser nicht mehr signifikant war.

Lediglich bei einer der zehn Ratingfragen, die das subjektiv empfundene SV nach sexuell explizitem Filmmaterial abfragten, ergaben sich also signifikante Dreifachinteraktionen (Q7;  $p=0.047$ ; „sinnlich“). Bei einer weiteren Ratingfrage ergab sich Nahsignifikanz (Q1;  $p=0.085$ ; „Schnelleres Atmen“). In Q7 wurde beim Pornovideo nach Scheinstimulation ein signifikanter Anstieg des Rating-Mittelwertes verzeichnet. Nach rechtsseitiger tDCS sank der Rating-Mittelwert, erreichte jedoch mit  $p=0.106$  nicht die 5%-Signifikanzgrenze. Der Rating-Mittelwert war nach rechtsseitiger tDCS tendenziell geringer als nach Scheinstimulation ( $p=0.061$ ). Linksseitige tDCS führte zu einem kaum veränderten Rating-Mittelwert im Vergleich zur Ausgangssituation. Ferner waren in den Ratingfragen Q4, Q6, Q9 und Q10 dieselben relativen Veränderungen wie in Q7 zu beobachten: erhöhtes Craving nach

Scheinstimulation, reduziertes Craving nach rechtsseitiger und mehr oder minder unverändertes Craving nach linksseitiger tDCS (s. Abb. 16, 18, 21 und 22) – nichtsdestotrotz waren diese Veränderungen nicht annähernd signifikant.

In der Literatur zur Reduktion von durch entsprechende Belohnungsreize induziertem Craving wird regelmäßig über eine Herabsetzung von Craving durch tDCS über dem rechten und, etwas weniger häufig, auch über dem linken DLPFC im Vergleich zu Sham-Bedingung berichtet (Fregni et al. 2008b; Sauvaget et al. 2015; Fecteau et al. 2014; Burgess et al. 2016; Goldman et al. 2011). Unsere Ergebnisse zeigten diesen Effekt deutlicher für den rechten DLPFC (Nahsignifikanz im Vergleich rechte Verum-tDCS zu Scheinstimulation vor bzw. nach tDCS). Sie parallelisieren damit Ergebnisse einer Metaanalyse, die zwar keinen signifikanten Unterschied in einer rechts- gegenüber einer linksseitigen Stimulation des DLPFC in Bezug auf die Senkung von Craving im Vergleich zu Scheinstimulation verzeichnete, jedoch ein geringfügiges Überwiegen der Effekte zugunsten der rechtsseitigen Stimulation vermuten ließen (Jansen et al. 2013).

In einer Studie von Fregni und Mitarbeitern wurden dieselben qualitativen Veränderungen wie bei unseren Versuchen verzeichnet: reduziertes Maß an Craving im Anschluss an rechtsseitige tDCS, gleichbleibendes Maß an Craving nach linksseitiger tDCS und Anstieg nach Scheinstimulation (Fregni et al. 2008b). Die Forscher hatten untersucht, ob reizinduziertes Craving nach Essen durch anodale Stimulation des DLPFC (Kathode kontralateral) beeinflusst werden kann (Fregni et al. 2008b). Hierbei zeigte sich der Anstieg des Cravings nach Scheinstimulation wie bei uns signifikant; zusätzlich war jedoch auch der Abfall des Cravings nach rechtsseitiger anodaler tDCS des DLPFC signifikant (Fregni et al. 2008b). Dass es bei ihrer Studie wie bei der vorliegenden keine signifikanten Unterschiede zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation gab – obwohl sich nach linksseitiger tDCS das Craving im Gegensatz zu rechtsseitiger tDCS nicht niedriger als vor der Stimulation zeigte – erklärten die Forscher durch eine wohl zu geringe Power der Studie (Fregni et al. 2008b). Da ihre Studie wie die unsere mit 23 Versuchspersonen durchgeführt wurde (wobei nur 21 der Probanden von Fregni et al. die Experimente komplettierten), ist diese Annahme auch für die Interpretation unserer Ergebnisse relevant (Fregni et al. 2008b). Unsere Ergebnisse bekräftigen damit auch die Ergebnisse früherer rTMS-Untersuchungen, welche durch Aktivitätssteigerung des linken DLPFC ein Gleichbleiben von Craving nach Essen zeigten, wobei dieses nach Scheinstimulation signifikant gestiegen war (Uher et al. 2005).

Boggio und Kollegen zeigten, wie auch wir, einen Anstieg des Cravings nach Scheinstimulation, wobei dieser im Gegensatz zu unseren Ergebnissen nicht signifikant war (Boggio et al. 2008b). Nach rechts- und linksseitiger tDCS über dem DLPFC erniedrigte sich das Craving – in jener Studie nach Alkohol – signifikant (Boggio et al. 2008b). Genauso verhielt es sich in weiteren Untersuchungen des Forschungsteams, in denen Craving nach Zigarettenrauchen untersucht wurde: Nach sowohl rechts- als auch linksseitiger tDCS war ein signifikanter Abfall des Cravings im Vergleich zur Situation vor tDCS zu beobachten sowie ebenfalls im Vergleich zur Scheinstimulation, welche vor und nach Stimulation mit praktisch gleichen Craving-Werten assoziiert war (Fregni et al. 2008a).

Untersuchungen von Personen mit Binge-Eating-Störung ergaben ebenfalls ein vermindertes Maß an Craving nach Essen infolge anodaler tDCS des rechten DLPFC im Vergleich zur Scheinbehandlung (Burgess et al. 2016). Zwar waren nach Scheinstimulation im Vergleich vor zu nach tDCS auf entsprechende visuelle Stimuli die Craving-Werte ebenfalls gesunken, die Verum-Stimulation zeigte jedoch signifikant mehr Reduktion verglichen mit Sham (Burgess et al. 2016). Analog verhielt es sich in einer Arbeit mit nikotinabhängigen Probanden, die den Wunsch hatten, das Rauchen aufzugeben: Nach anodaler tDCS des rechten DLPFC wiesen die Probanden mit echter im Vergleich zu den Probanden mit Scheinbehandlung ein vermindertes Craving nach Zigarettenrauchen auf und legten signifikant häufiger eine vernünftige Entscheidungsfindung zutage, d. h., sie lehnten häufiger Zigarettenangebote ab (Fecteau et al. 2014).

Auch mit PET-Untersuchungen konnte man bereits zeigen, dass bei der Entscheidungsfindung vor allem der rechte DLPFC (und zu geringerem Ausmaß der linke) eine erhöhte Aktivität aufweist (Ernst et al. 2002). In einer Metaanalyse stellten Fecteau et al. wiederum fest, dass mittels rTMS oder tDCS über dem DLPFC die Entscheidungsfindung bei der Impulskontrolle beeinflusst werden kann (Fecteau et al. 2010).

Hiermit wird eine entscheidende weitere Eigenschaft des DLPFC angesprochen, nämlich die der Inhibition. Der Zusammenhang inhibitorischer Funktionen mit Gehirnaktivität im rechten PFC ist gut dokumentiert (Thayer und Lane 2009). Diese inhibitorischen Funktionen des PFC können umschrieben werden als negative Feedbackmechanismen, welche die Unterbrechung von stattfindendem Verhalten im Kontext einer sich konstant wandelnden Umwelt erlauben, um autonome, kognitive oder affektive Ressourcen entsprechend anpassen, bzw. auf neue Aufgaben richten zu können (Thayer und Brosschot 2005). Burgess und Kollegen postulieren die wichtige Rolle des rechten DLPFC für kognitive Kontrollfähigkeit und/oder für das

Belohnungssystem des Gehirns, welche dazu führt, dass anodale tDCS die kognitive Kontrollfähigkeit steigert und/oder dass sie zu einem verminderten Belohnungsbedürfnis führt (Burgess et al. 2016). Der Aspekt der Inhibition war in unseren Experimenten von zentraler Bedeutung. Die Probanden mussten aufgrund nicht komplett vorhandener Intimsphäre in den Versuchsräumen ihr SV zügeln und konnten sich ihren natürlichen Trieben nicht frei hingeben. An dieser Stelle sei nochmals auf die Studie von Beauregard et al. verwiesen, welche mittels fMRT eine erhöhte Aktivität im rechten DLPFC bei bewusster Unterdrückung sexueller Erregung verzeichnete und deren Ergebnisse die hier vorliegenden Befunde bekräftigen (Beauregard et al. 2001).

Die inhibitorische Kontrollfunktion äußert sich z. B. auch in Form erniedrigter Impulsivität bzw. Risikobereitschaft, wenn anodale tDCS über dem rechten DLPFC appliziert und dessen Erregbarkeit somit gesteigert wird (Fecteau et al. 2007). Probanden waren nach der rechtsseitigen gegenüber der linksseitigen tDCS (Referenzelektrode jeweils über dem kontralateralen DLPFC) und gegenüber Sham signifikant häufiger dazu geneigt, in einem psychologischen Test die sichere anstatt die riskantere Entscheidungsmöglichkeit zu wählen (Fecteau et al. 2007). So auch bei Untersuchungen von Boggio et al., bei denen rechts-anodale tDCS über dem DLPFC (Kathode über kontralateralem DLPFC) bei gesunden Versuchspersonen in einer weniger riskanten Entscheidungsfindung resultierte (Boggio et al. 2010b). Knoch und Kollegen konnten wiederum risiko-freudiges Verhalten bei Probanden beobachten, deren neuronale Aktivität im rechten DLPFC mittels niederfrequenter rTMS transient unterbrochen wurde (Knoch et al. 2006). Sowohl bei linksseitiger, als auch Scheinstimulation wurden signifikant häufiger sicherere Entscheidungen in einem psychologischen Test getroffen (Knoch et al. 2006). Dieselben Tendenzen zeigten sich durch rechts-kathodale bei gleichzeitiger links-anodaler tDCS des DLPFC: Eine auf diese Weise stimulierte Probandengruppe entschied sich in einem psychologischen Test signifikant häufiger riskanter als die scheinstimulierte Gruppe und als die Gruppe, bei der die Elektrodenplatzierung umgekehrt war (d. h., Anode über rechtem und Kathode über linkem DLPFC) (Boggio et al. 2010a). Die Kapazität, verführerischen Reizen im Sinne der Selbstbeherrschung zu widerstehen, hängt also vom Aktivitätsgrad des rechten PFC ab (Knoch und Fehr 2007). So zeigten Probanden, die niederfrequente rTMS (dies entspricht einer vorübergehenden Inaktivierung von Nervenzellen) über dem rechten DLPFC erhalten hatten, eine gegenüber Sham und linksseitiger rTMS signifikant erhöhte Neigung, riskante Angebote in einem psychologischen Test anzunehmen (Knoch und Fehr 2007). Diese Ergebnisse stehen somit im

Einklang mit denen der eben genannten Studien von Fecteau et al. und von Boggio und Kollegen (Boggio et al. 2010b; Fecteau et al. 2007). Laut den Autoren führe eine vermehrte Aktivierung des rechten DLPFC zu erhöhter kognitiver Kontrolle sowie adaptierter Entscheidungsfindung (Knoch und Fehr 2007).

Auch Fairness gegenüber Mitmenschen, welche einhergeht mit Top-down-Prozessen exekutiver Kontrolle, durch die die eigenen Interessen gezügelt werden, ist essenziell für ein soziales Miteinander. Knoch und Fehr konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass niederfrequente rTMS des rechten DLPFC faires Verhalten reduziert, gleichzeitig jedoch gerechtes Urteilsvermögen nicht beeinträchtigt; Probanden waren sich ihres unsozialen Verhaltens zwar bewusst, handelten trotz dieses Wissens jedoch nicht fairer (Knoch und Fehr 2007). Zu einem späteren Zeitpunkt zeigten Knoch und Kollegen wiederum, dass die Herabsetzung der Aktivität des rechten DLPFC mittels Applizierung kathodaler tDCS zu einer gegenüber Scheinstimulation signifikant verminderten Neigung führte, unfaires Verhalten zu bestrafen (Knoch et al. 2008).

Mit diesen Hintergründen ist erkennbar, dass der rechte DLPFC wichtig ist, um Impulse zu egoistischem (oder im weiteren Sinne der Situation unangepasstem) Verhalten zu unterdrücken. Möglicherweise haben wir also in unserem Experiment, bei dem sich die Probanden sicherlich gerne den verführerischen Reizen hingeeben hätten, den rechten DLPFC in der eben beschriebenen Funktion (durch die anodale tDCS) bestärkt, und konnten damit erreichen, dass sie ihr Verlangen im Sinne der Angepasstheit an die soziale Umgebung im Zaum hielten. Eine nicht ausreichend erfolgte „Zurückhaltung“ hätte zu einer unangenehmen Situation für den Versuchsleiter führen können, was die Probanden durch ihre kognitive Kontrolltätigkeit verhindern konnten.

Die Erkenntnisse aus den Arbeiten von Knoch und Kollegen decken sich mit denen von Damasio, der zusätzlich eine beeinträchtigte Emotionalität bzw. ein vermindertes Einfühlungsvermögen sowie Mängel in der Aufmerksamkeit bei Personen mit dorsalen bzw. frontalen Läsionen im PFC dokumentierte (Damasio 1994). Defizite in der Empathiefähigkeit sind die Folge von hauptsächlich rechtsseitigen Frontalläsionen (Stuss et al. 2001; Shamay-Tsoory et al. 2003).

Die berichteten Fakten werden von einem Review untermauert, das eine Senkung von Impulsivität bei rechts-anodaler tDCS über dem PFC dokumentiert: Inhibitorische Kontrollfähigkeiten sollen nach Minderung der Aktivität des rechten PFC (durch nieder-

frequente rTMS oder kathodale tDCS) zurückgehen, während Aufmerksamkeit durch Steigerung der Aktivität des rechten PFC (durch hoch-frequente rTMS oder anodale tDCS) gefördert werden soll (Brevet-Aeby et al. 2016). Außerdem soll die Steigerung der Aktivität des rechten PFC (durch anodale tDCS) in einer höheren Planungsfähigkeit und einer niedrigeren Risikobereitschaft resultieren, und im Umkehrschluss die Minderung der Aktivität des rechten PFC (durch niederfrequente rTMS) zu einer höheren Risikobereitschaft führen (Brevet-Aeby et al. 2016).

Aber auch linksseitige anodale tDCS des PFC kann inhibitorische Kontrollfähigkeiten und Aufmerksamkeit erhöhen (Brevet-Aeby et al. 2016). Dem linken DLPFC wurde somit auch schon die hemmende Kontrollfunktion, welche von der rechten Hemisphäre berichtet wird, zugeschrieben. In einer Arbeit mit gesunden Probanden konnte man nachweisen, dass tDCS des linken DLPFC – verglichen mit Scheinbehandlung und gemessen anhand eines modifizierten Stroop-Tests – zu einer signifikanten Steigerung inhibitorischer Fähigkeiten führte (Loftus et al. 2015). Ferner wiesen Falcone und Mitarbeiter bei nikotinabhängigen Probanden eine verbesserte Fähigkeit zur Rauchabstinenz infolge anodaler tDCS über dem linken DLPFC nach (Falcone et al. 2016). Kroczek und Kollegen untersuchten ihrerseits den Einfluss von anodaler tDCS des linken DLPFC auf Craving und HRV während der Präsentation von Nikotinreizen bei abhängigen Probanden; sie konnten keinen signifikanten Unterschied im Level an Craving zwischen der scheinstimulierten Probandengruppe und der Probandengruppe mit Verum-Stimulation verzeichnen (Kroczek et al. 2016).

Die Probandengruppe mit echter tDCS gab in den Untersuchungen von Kroczek et al. nicht-signifikant höhere Ratingwerte an als die Probandengruppe, welche Scheinstimulation erhalten hatte (Kroczek et al. 2016). Da die Forscher jedoch mit einem verminderten Maß an Craving in der Gruppe mit echter Stimulation gerechnet hatten, mutmaßten die Autoren, dass die von ihnen eingesetzte Skala, eine Likert-Skala von 0 bis 10, möglicherweise zu ungenau gewesen war und geringe Änderungen an Craving nicht erfasst haben könnte (Kroczek et al. 2016). Hierzu gibt es zu sagen, dass in der Vergangenheit zwar schon vereinzelt Likert-Skalen von beispielsweise 0 bis 100 (Li et al.; Fregni et al. 2008a) benutzt wurden; bei vielen Studien jedoch (Kroczek et al.; Burgess et al.; Fecteau et al.; Uher et al.; Fregni et al. 2008b; Pripfl et al.; Cepeda-Benito et al.; Ingjaldsson et al.) kamen solche von 0 bis 10 oder mit meist noch geringerer Breite zum Einsatz (Kroczek et al. 2016; Burgess et al. 2016; Fecteau et al. 2014; Uher et al. 2005; Pripfl et al. 2014; Fregni et al. 2008b; Fregni et al. 2008a; Li et al. 2013; Cepeda-Benito et al. 2000; Ingjaldsson et al. 2003b; Ingjaldsson et al. 2003a).



Des Weiteren verwiesen KroczeK et al. auf ein mögliches Verpassen eines gegebenenfalls schwachen Effektes der tDCS, da ihre Stichprobengröße (n=29) klein gewesen sei (KroczeK et al. 2016). Zwar ist dieser Stichprobenumfang genau wie der der vorliegenden Studie (n=23) vergleichbar hoch wie (Burgess et al.; Fregni et al.; Boggio et al. 2009; Uher et al.) oder sogar höher als (Boggio et al. 2008b; Fecteau et al.; Li et al.; Pripfl et al.) der anderer Arbeiten, die das Thema Craving untersuchten (Burgess et al. 2016; Uher et al. 2005; Li et al. 2013; Pripfl et al. 2014; Fregni et al. 2008b; Fregni et al. 2008a; Boggio et al. 2008a; Boggio et al. 2008b; Fecteau et al. 2014; Boggio et al. 2009). Um jedoch, wie erwähnt, die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers zweiter Art durch vorhandene, aber nur schwache Effekte der tDCS bei zu geringer Probandenanzahl zu minimieren, ist es in Anlehnung an KroczeK et al. sinnvoll, für zukünftige Untersuchungen eine größere Stichprobe als die der vorliegenden Arbeit in Erwägung zu ziehen (KroczeK et al. 2016).

Trotz der guten Dokumentation der Rolle, die die Aktivität des linken DLPFC für Craving spielt, gibt es in der Literatur auch Widersprüche. Während viele Arbeiten eine Reduktion von Craving nach linksseitiger Aktivitätssteigerung des DLPFC dokumentierten (vgl. auch 1.3 und 1.4), gibt es auch Arbeiten, die im Gegenteil durch transiente Unterbrechung der Aktivität des linken DLPFC mittels rTMS eine Herabsetzung von reizinduziertem Craving erreichten (Hayashi et al. 2013).

Hayashi und Kollegen sind nicht die einzigen, die widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf rTMS und der Reduktion von Craving veröffentlichten. Tatsächlich gibt es weitaus mehr rTMS- als tDCS-Publikationen, die von einem Misslingen der Beeinflussung von Craving bei Stimulation des DLPFC berichten. Da beide Stimulationsmedien in ähnlicher Weise eine Aktivitätssteigerung bzw. -minderung anvisierter Neurone induzieren, bietet sich ein Anführen von rTMS-Untersuchungen an dieser Stelle an.

Eine Arbeit von Eichhammer und Kollegen knüpft an die nicht-erfolgreiche Reduktion von Craving nach Aktivitätssteigerung des linken DLPFC an (vgl. eben genannte Studien von KroczeK et al. und Hayashi et al.): Nach hochfrequenter rTMS (dies bedingt eine Aktivitätssteigerung) des linken DLPFC bei abhängigen Zigarettenrauchern konnte gegenüber einer Scheinstimulation keine signifikante Änderung des Cravings nach Tabakrauchen beobachtet werden (Eichhammer et al. 2003). Höppner et al. wiederum konnten bei alkoholabhängigen Probanden (durch ebenfalls hochfrequente rTMS des linken DLPFC) keine signifikanten Unterschiede im Craving nach Alkohol im Vergleich zu einer scheinstimulierten Probandengruppe nachweisen (Höppner et al. 2011). Herremans et al. schließlich stimulierten

den rechten DLPFC hochfrequent mit rTMS (Herremans et al. 2012). Sie konnten bei alkoholkranken Probanden keine Reduktion des Cravings im Vergleich zu Scheinstimulation zeigen (Herremans et al. 2012).

Dass die Thematik der Beeinflussung von Craving durch NIBS des DLPFC teils kontrovers diskutiert wird, zeigen auch die folgenden Untersuchungen bzw. Metaanalysen, welche zum einen für, zum anderen gegen den Erfolg der Verfahren plädieren. Barr und Kollegen analysierten acht Studien zu Alkohol- Nikotin- und Kokain-Craving und kamen zu dem Ergebnis, dass hochfrequente rTMS des DLPFC (rechts-, links- oder beidseitig) das Niveau an Craving senken (und teils auch den Konsum der entsprechenden Substanzen einschränken) konnte (Barr et al. 2011). Interessante neuere Untersuchungen bei Methamphetamin-abhängigen Probanden ergaben ferner, dass sowohl hoch-, als auch niederfrequente rTMS sowohl des rechten, als auch des linken DLPFC Craving signifikant reduzierte (wobei Scheinstimulation das Craving nicht beeinflusste) (Liu et al. 2017). Untersuchungen von Boggio, Fregni und Kollegen zeigten überdies, dass gleichermaßen rechts- als auch links-anodale Stimulation des DLPFC durch tDCS (bei gleichzeitiger Platzierung der Kathode über dem kontralateralen DLPFC) eine signifikante Senkung von Craving nach Alkohol bei anhängigen Probanden gegenüber einer Scheinstimulation zur Folge hatte (Fregni et al. 2008a; Boggio et al. 2008b).

Demgegenüber steht beispielsweise eine Metaanalyse, die zu dem Schluss kommt, dass rTMS zwar signifikante Änderungen im Craving herbeiführen kann, eine Reduktion von Craving jedoch nicht in allen behandelten Studien klinische Signifikanz erreichte und methodologische Diskrepanzen die unterschiedlichen Ergebnisse erklären könnten (Hone-Blanchet et al. 2015). Auch unser methodologisches Vorgehen ist womöglich dafür verantwortlich, dass wir Craving nicht sicher beeinflussen konnten. Dieser Punkt wird ausführlicher in Kapitel 4.10 diskutiert. In einer 2014 erschienenen Metaanalyse wurden zum wohl ersten Mal evidenzbasierte Richtlinien zum therapeutischen Einsatz von rTMS veröffentlicht (Lefaucheur et al. 2014). Diese kam zum Schluss, dass die Daten der bis zu jenem Zeitpunkt veröffentlichten placebokontrollierten Studien in Bezug auf Essen- und Alkohol-Craving nicht ausreichen würden, um diesbezügliche therapeutische Empfehlungen aussprechen zu können (Lefaucheur et al. 2014). Nach den Kriterien der Forscher könne lediglich ein Empfehlungsgrad C für einen möglichen therapeutischen Nutzen bezüglich einer Senkung von Nikotin-Craving durch hochfrequente rTMS des linken DLPFC ausgesprochen werden (Lefaucheur et al. 2014). Damit gibt es auch Expertenmeinungen, welche die Wirksamkeit einer Aktivitätssteigerung des

DLPFC zum Zwecke einer Senkung reizinduzierten Cravings/Verlangens anzweifeln. Auch unsere Ergebnisse stellen diese Wirksamkeit – speziell im Hinblick auf SV – infrage.

In einer interessanten fMRT-Studie konnte dargelegt werden, dass Reiz-getriggerte Aktivität in beiden DLPFC nur bei der Probandengruppe nachzuweisen war, die die Aussicht auf baldige Verfügbarkeit eines verlangten Gegenstands hatte; bei der anderen Probandengruppe, für die diese Aussicht nicht bestand, war keine Aktivität im DLPFC nachzuweisen (McBride et al. 2006). Den Forschern zufolge integriert der DLPFC Informationen zu internem Zustand (Craving, Entzugserscheinungen), Motivation, Erwartung und Vorhandensein eines Reizes und benutzt diese, um gerichtetes Verhalten zu initiieren (McBride et al. 2006). McBride und Kollegen postulierten, dass der DLPFC an der Top-down-Regulierung externer Stimuli beteiligt sei – in Abhängigkeit davon, ob die Belohnung, die der Reiz verspricht, erreichbar erscheint (McBride et al. 2006). Der beschriebene Sachverhalt könnte der Grund dafür sein, dass in einer anderen Studie Alkoholreize nur dann entscheidend die Aufmerksamkeit von Gelegenheitstrinkern erweckten, wenn die Aussicht auf eine im Anschluss an den Versuch verfügbare Portion Alkohol bestand; wenn dies hingegen nicht der Fall war, konnte kein vermehrtes Fixieren der visuellen Stimuli im Sinne eines „Attention Bias“ beobachtet werden (Field et al. 2011). Im Zusammenhang mit unseren Ergebnissen könnte dies ein weiterer Grund dafür sein, dass nur eine einzige unserer Ratingfragen signifikant wurde: Das Pornovideo, welches in einem „realitätsnahen“ Setting (wie beispielsweise daheim) zu SV und Wunsch nach Belohnung (beispielsweise in Form eines Orgasmus) führen würde, könnte im Laborsetting nur zu einem minderen Maß an Verlangen und somit einem minderen Maß an Aktivität im DLPFC geführt haben – weil die Belohnung (Orgasmus) nicht in Aussicht stand (Gola et al. 2016; McBride et al. 2006). Diesen Aussagen zufolge könnte man annehmen, dass der DLPFC in unseren Versuchen nicht in hohem Maß aktiv war, weil er das Verlangen, welches selbst nur eingeschränkt erweckt worden war, sodann auch nur geringfügig unterdrücken musste. Folglich konnte die vermehrte Aktivierung des DLPFC durch unsere anodale tDCS auch nur wenig ausrichten (in Bezug auf die Herabsetzung von SV).

Warum gerade Q7 in unserer Arbeit signifikant wurde, könnte letztlich auch darauf zurückzuführen sein, dass der Inhalt dieser Ratingfrage – im Gegensatz zu praktisch allen anderen Fragen – nicht explizit vordefiniert war („sinnlich“). Der Umstand, dass die Probanden die Frage deshalb mehr aus dem Gefühl heraus beantworten mussten (d. h., dass die Bewertung von Q7 geringerer kognitiver Kontrolle unterworfen war) und dass „sinnlich“ den Hintergrund

der Frage (induziertes SV) möglicherweise verschleiert, könnte dazu geführt haben, dass gerade diese Frage als einzige signifikante Dreifachinteraktionen aufwies.

Es fällt auf, dass mit Ausnahme von Q5 („Erektion“) alle Ratingfragen bei der Sitzung mit rechtsseitiger tDCS nach der Stimulation niedriger als davor bewertet wurden (wenn auch, wie gesagt, nicht-signifikant). Da Q5 auch bei linksseitiger und bei Scheinstimulation nach Stimulation höher bewertet wurde als vor den jeweiligen Stimulationen, könnte man die fremde Umgebung als Grund für diese Tatsache vermuten: Bei einem intimen Thema wie dem vorliegenden ist es sehr wahrscheinlich, dass die Probanden sich während des Experiments in den Versuchsräumlichkeiten nicht komplett entspannen konnten. Somit könnte es sein, dass die in Kapitel 1.5 genannte, für die Erektion des männlichen Gliedes notwendige, parasympathische Aktivität sich erst allmählich hat entfalten können – ersichtlich an den etwas höheren Ratingwerten nach den jeweiligen Stimulationen und somit einem schon etwas längerem Verweilen in den Räumlichkeiten (eine Art Gewöhnung an die Situation). Um diese Problematik zu umgehen, wurden in der Vergangenheit schon vereinzelt internetbasierte Online-Studien durchgeführt, welche den Versuchspersonen eine vertraute Umgebung ermöglichten (Goldey und van Anders 2012). Ferner könnte auch das Wissen, dass eine Reaktion von ihnen „erwartet“ wird, unsere Probanden unter einen gewissen Leistungsdruck versetzt haben, welcher sich ungünstig auf die nötige Entspannung ausgewirkt haben könnte. Nicht zuletzt haben die Probanden gegebenenfalls auch die Vorstellung, dass ihnen eine nach dem Videoansehen noch verbleibende Erektion angesehen werden könnte, als beschämend empfunden. Diese Befürchtung legte sich möglicherweise geringfügig nach dem ersten Videoblock und dem tDCS-Block und führte somit zu einem höheren mittleren Ratingwert nach tDCS in Q5.

#### 4.8 HR und HRV

In unserer Studie war die HR unter sämtlichen Bedingungen während der Pornovideos signifikant höher als während der Tennisvideos, was für eine höhere vegetative Erregung bzw. Sympathikusaktivität während des Pornovideos spricht. Zudem war die HFpowFFT unter sämtlichen Bedingungen während des Pornovideos signifikant niedriger als während des Tennisvideos. Eine niedrige HFpowFFT reflektiert niedrige parasympathische Aktivität und somit wiederum ein Überwiegen des Sympathikus (Akselrod et al. 1981; Pomeranz et al. 1985; Malliani et al. 1991; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American

Society of Pacing and Electrophysiology 1996). Eine erhöhte Sympathikusaktivität während sexueller Erregung war zu erwarten (Rampin und Giuliano 2000).

Wider Erwarten ergaben sich für keine der HRV-Maßen inklusive HR signifikante Dreifachinteraktionen in unseren ANOVAS. In einer kürzlich erschienenen Arbeit zu tDCS, Craving und HRV (speziell HFpowFFT, LFpowFFT) bei nikotinabhängigen Probanden wurden zweifaktorielle ANOVAS mit den Faktoren Zeit (Maß an Craving und HRV wurden über 20 Minuten kontinuierlicher Reizexposition aufgezeichnet) und Stimulation (sham oder echte tDCS des linken DLPFC) durchgeführt (Kroczek et al. 2016). Es konnten ebenfalls keine signifikanten Interaktionen in den ANOVAS für LFpowFFT bzw. HFpowFFT nachgewiesen werden, außer während eines ersten Zeitintervalls, in dem die LFpowFFT signifikant anstieg (ab dann blieb die LFpowFFT im Vergleich zur Ausgangssituation konstant erhöht) (Kroczek et al. 2016). Ginge man von der Forderung von Rajendra Acharya und Kollegen aus, dass die LFpowFFT rein sympathische Einflüsse auf das Herz widerspiegelt (vgl. 1.5), könnte dies so interpretiert werden, dass die Sympathikusaktivität der Probanden in der Studie von Kroczek et al. durch die konstante Reizexposition zunächst bedeutend anstieg und anschließend stetig erhöht blieb (Rajendra Acharya et al. 2006; Kroczek et al. 2016).

#### 4.9 Korrelation zwischen SV und HR bzw. HRV

Dass die Präsentation von Belohnungsreizen zu Craving und physiologischen Veränderungen führt, ist zwar gut belegt (Carter und Tiffany 1999). Eine Dissoziation – d. h. mangelnde Korrelation – zwischen Selbsteinschätzung und physiologischen Parametern wie beispielsweise der HR findet sich jedoch bei sehr vielen Studien zu Belohnungsreizen (Tiffany 1990). Die nicht vorhandene Korrelation zwischen SV und HR bzw. HRV in der vorliegenden Studie bestätigt diese Erkenntnisse. Auch viele bereits genannte Arbeiten verzeichneten keine statistisch signifikante Korrelation zwischen Craving und HR bzw. HRV (Kroczek et al. 2016; Erblich et al. 2011; Drobos und Tiffany 1997; Cepeda-Benito und Tiffany 1996).

Drobos und Tiffany sind der Meinung, dass weder eine Unempfindlichkeit der eingesetzten Messverfahren gegenüber der Manipulation von Verlangen, noch eine zu kleine Bandbreite der Variablen, noch eine ungläubwürdige Bewertung des selbstberichteten Cravings für nicht-nachweisbare Korrelationen verantwortlich gemacht werden können (Drobos und Tiffany 1997).

Interessanterweise korrelieren meist auch in Untersuchungen zu Emotionen physiologische Messwerte schlecht mit der Selbsteinschätzung (Wilson und Abrams 1977). Sowohl im Rahmen von Craving als auch von Emotionen wurden multidimensionale Auswirkungsmodelle von Reizen vorgeschlagen, nach denen sich der Reiz auf dem Niveau der Selbsteinschätzung andersartig manifestiert als auf dem Niveau der Physiologie (Wilson und Abrams 1977; Tiffany 1990). Daher kann und sollte man die multimodalen Auswirkungen eines Reizes auf den unterschiedlichen Ebenen unabhängig voneinander interpretieren.

In einer Arbeit zu Essensreizen, Craving und HRV konnte hingegen eine Korrelation zwischen Craving und arteriellem Blutdruck, sowie zwischen Craving und der Menge an nach dem Experiment erfolgter Nahrungsaufnahme gefunden werden (Nederkoorn et al. 2000). Auch zwei bereits genannte Studien verzeichneten eine verminderte Menge an aufgenommener Nahrung respektive aufgenommenem Nikotin im Anschluss an Versuche, in denen tDCS über dem rechten DLPFC erteilt worden war (Burgess et al. 2016; Fecteau et al. 2014). Dies gibt nützliche Anregungen für zukünftige Studien, da der Blutdruck ein sowohl einfach zu bemessender Parameter ist, als auch speziell in einer Studie wie der vorliegenden beispielsweise die Häufigkeit sexueller Befriedigung nach den Versuchen abgefragt werden könnte.

Abgesehen von diesen Beobachtungen lassen sich bei den Abbildungen zu Q2 (schnellerer Herzschlag als normalerweise; Abb. 13) und auch zu Q1 (schnelleres Atmen als normalerweise; Abb. 14) dieselben relativen Veränderungen erkennen wie bei der Abbildung zur HR (Abb. 23): Erstens sind die Balken beim Pornovideo durchweg höher als beim Tennisvideo derselben Bedingung und zweitens sind sowohl für das Tennis- als auch das Pornovideo die Balken vor der Stimulation höher als danach. Damit kann man zumindest festhalten, dass die Probanden die relativen Änderungen ihres Pulses und Atmens richtig einschätzen konnten.

## 4.10 Verbesserungsvorschläge und Ausblick

### 4.10.1 Reiztypus

Um die Reaktion der Probanden auf die eingesetzten Reize noch weiter zu erhöhen – unsere Probanden haben die zehn Ratingfragen meist mit durchschnittlichen Werten im Bereich von 4 (Likert-Skala von minimal 1 bis maximal 7) bewertet – könnte man für zukünftige Untersuchungen unter Umständen den Reiztypus optimieren:

Die Pornographie-Industrie hat sich in den letzten Jahren und Jahrzehnten derart entwickelt, dass pornographisches Material sehr leicht zugänglich ist und davon auszugehen ist, dass die

von uns untersuchte Altersgruppe in erheblichem Umfang darauf zurückgreift (Svedin et al. 2011). Die leichte Zugänglichkeit führt dazu, dass immer ausgefallener, erregender und spezifisch auf den persönlichen Geschmack abgestimmte sexuelle Reize von Nöten sind, um sexuell erregend zu wirken bzw. SV zu generieren. Im Vergleich zu Frauen sind Männer zudem sehr spezifisch im Bezug darauf, was sie sexuell erregend finden (Chivers et al. 2004; Chivers und Bailey 2005). Dementsprechend kann es sein, dass ein sexueller Reiz, wenn er den persönlichen Geschmack nicht trifft, praktisch nicht erregend wirkt.

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass sich Männer häufig sexuelle Fantasien ausmalen und dadurch erregt werden (Jones und Barlow 1990). Auch Laws postuliert, dass die virtuelle Realität das Erregungsmedium der Zukunft darstelle (Laws 2009).

Aus diesen Gründen und um die Anzahl an unterschiedlichen Arten, wie eine Person sexuell erregt werden kann, nicht zu beeinträchtigen, setzten Goldey und van Anders verschiedene sexuelle Reizmodi in einer internetbasierten Studie ein (Goldey und van Anders 2012). Sie konnten bestätigen, dass eigens generierte sexuelle Fantasien am erregendsten gegenüber expliziten, schon vordefinierten Stimuli wie Bild- oder Filmmaterial, einer Tonaufnahme o. ä., wirken (Goldey und van Anders 2012). Demzufolge hätte in unseren Versuchen vielleicht auch Videomaterial, welches beispielsweise nur Nahaufnahmen der Penetration gezeigt hätte, zu mehr Erregung bzw. SV geführt. Nahaufnahmen hätten Fantasien weniger eingeschränkt und auch das Setting, sowie das Gesamt-Aussehen der Schauspieler offengelassen.

Ein anderer Aspekt, welcher auffiel, war eine Gewöhnung an das Pornovideo: Die Ratings vor tDCS wurden geringer, je öfter die Probanden zu den (insgesamt drei) Versuchsterminen kamen (signifikant bei allen Ratingfragen außer Q5). Dass eine Person ein erotisches Video nach mehrmaligem Ansehen nicht mehr so erregend empfindet wie beim erstmaligen Ansehen, wenn die Handlung noch unerwartet passiert und somit aufregender ist, leuchtet ein. Dass wir immer dasselbe Video präsentierten, kann somit als Limitation der vorliegenden Arbeit gesehen werden. Dennoch – der Einsatz geschah bewusst, da wir vermeiden wollten, dass die Probanden durch die Verwendung unterschiedlicher Videos unterschiedlich erregt würden. Dies wäre anzunehmen gewesen, da jede Person – wie erwähnt – auf ganz unterschiedliche Reize erregt reagieren kann. Zudem hatten wir auch randomisiert, um Reihenfolgeeffekte auszuschließen.

Ein letzter wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist in Anlehnung an Barth et al., dass womöglich auch die Unannehmlichkeit der Stimulation selbst zu generell niedrigen Ratingwerten führte (Barth et al. 2011). Auch wenn Barth und Kollegen die im Vergleich zur

tDCS unangenehmere rTMS als Stimulationsmedium nutzten – die schon mehrfach genannte nötige Entspannung für die Generierung einer sexuellen Antwort (vgl. 1.5) auf entsprechende Reize könnte auch schon durch die tDCS beeinträchtigt worden sein (Barth et al. 2011).

Ob allgemein erhöhte Bewertungen unserer zehn Ratingfragen jedoch zu einem Mehr an signifikanten Interaktionen in den Varianzanalysen geführt hätten, bleibt offen.

#### 4.10.2 Probandenkollektiv und Studiendesign

Auch wenn unsere Ergebnisse durch das Cross-over-Design (jeder Studienteilnehmer erhielt drei Sitzungen) vergleichbar sind mit denen einer Studie im Parallel-Design mit 69 Personen (rechtsseitige/linksseitige/sham tDCS mal 23 Probanden), kann die Testung der relativ niedrigen Probandenzahl von 23 als Limitation angesehen werden.

Ungünstigerweise können jedoch die bereits diskutierten Unterschiede in der sensorischen Wahrnehmung einer Verum- gegenüber einer Schein-tDCS die Verblindung erschweren, und zwar gerade dann, wenn Probanden in einer Cross-over-Studie beide Arten der Stimulation erfahren (O'Connell et al. 2012; Davis et al. 2013). Auch Brunoni und Kollegen empfehlen daher für eine optimale Verblindung der Scheinbedingung ein Parallel-Design bei tDCS-Studien, um ein richtiges Erraten der Scheinstimulation aufgrund der bei Verum-Stimulation häufigeren Nebenwirkungen zu verhindern (Brunoni et al. 2014).

Auch in diesem Zusammenhang ist die im vorherigen Kapitel angesprochene Gewöhnung an das Pornovideo zu erwähnen. Bei lediglich einem Versuchstag könnte man die Menge des Ansehens des Pornovideos von sechs auf nur zwei Mal reduzieren (einmal vor und einmal nach tDCS), was die Gewöhnung als Störfaktor in der Höhe des Ratings eliminieren würde.

#### 4.10.3 Verblindung und Stromstärke

Ein wichtiger Kritikpunkt der vorliegenden Arbeit war der der mangelhaften Verblindung der Scheinbehandlung (vgl. 4.3). Für zukünftige Untersuchungen muss daher diskutiert werden, wie ein gleichartiges Empfinden aller Sitzungen bewerkstelligt werden kann.

Der Einsatz von Lokalanästhetika könnte neben einer allgemein angenehmeren Stimulation aufgrund der Erniedrigung der Hautsensibilität speziell auch eine gleich angenehme Sham- und Verum-Stimulation ermöglichen (McFadden et al. 2011; Nitsche et al. 2008). Da die taktile Wahrnehmung (vgl. 4.3) und Annehmlichkeit (vgl. 4.2) der tDCS die Verblindung beeinflussen



können, wäre dadurch eine Verbesserung letzterer denkbar (Wallace et al. 2016; Day und Altman 2000; Gandiga et al. 2006).

Die vorliegende Arbeit orientierte sich wie die vieler anderer Forscher, die dieselbe Stimulationsintensität und -dauer wie wir einsetzten, an der Arbeit von Gandiga und Kollegen: Sie imitierten in der Sham-Sitzung das übliche Hautkribbeln unter der Stirnelektrode in den ersten Sekunden einer Verum-tDCS durch ein Abschalten des Gerätes nach Durchlaufen der 30-sekündige Fade-in-Phase (Fregni et al. 2008a; Fregni et al. 2008b; Boggio et al. 2008b; Goldman et al. 2011; Kekic et al. 2014; Montenegro et al. 2012; Gandiga et al. 2006). Nach dieser Phase sollte, nach Meinung einiger Wissenschaftler, mit keinen weiteren unangenehmen Empfindungen auf der Haut unter der stimulierenden Elektrode mehr zu rechnen sein (Gandiga et al. 2006; Nitsche et al. 2003). Neuere Untersuchungen ergaben allerdings, dass diese Aussage wahrscheinlich nur auf geringe Stromstärken zutrifft. Davis et al. nennen als Grenzwert 1 mA; über diesem werde eine Verblindung mit der gängigen Sham-Methode, nur Fade-in durchzuführen, schwierig (Davis et al. 2013). Dies demonstriert auch eine Arbeit von Falcone und Kollegen, in der mit einer Stromstärke von nur 1 mA über 20 Minuten tDCS verfahren wurde und die Versuchspersonen zu keinem signifikant höheren Wert als dem der Ratewahrscheinlichkeit zwischen echter und Sham-Behandlung unterscheiden konnten (der linke DLPFC wurde einmal verum- und einmal scheinstimuliert) (Falcone et al. 2016). Während der Scheinbedingung sei bei einer Stromstärke von 1 mA das Vorgehen „Fade-in – kurze Stimulation – Fade-out am Ende der Stimulationszeit“ selbst bei Probanden, welche bereits an tDCS-Studien teilgenommen hatten, noch zuverlässig (Ambrus et al. 2012).

Fertonani und Kollegen berichten, dass die vorrangigen sensorischen Eindrücke von Probanden, bei denen 2 mA Stromstärke zum Einsatz kam, nur zu 72% auf den Anfang der Stimulation fielen; beim Großteil der übrigen 28% verteilten sie sich auf die Mitte oder das Ende der Stimulation (Fertonani et al. 2015). O'Connell et al. postulieren sogar, dass alle Ergebnisse von tDCS-Studien, bei denen Stromstärken von 2 mA eingesetzt werden, mit Vorsicht zu interpretieren sind, da ihre Untersuchungen stark darauf hinweisen, dass keine Verblindung der Sham-Stimulation bei dieser Stromstärke mehr möglich sei (O'Connell et al. 2012).

Dass eine Verblindung trotz signifikant angenehmer empfundener Scheinstimulation funktionieren kann (d. h. der entsprechende Stimulationsmodus zu keinem größeren Anteil als der der Ratewahrscheinlichkeit richtig identifiziert werden kann), zeigen Ergebnisse von Russo, Wallace und Kollegen (Russo et al. 2013; Wallace et al. 2016). Obwohl die Verum- gegenüber

der Scheinstimulation in ihren Versuchen deutlich unangenehmer empfunden wurde, bzw. sensorische Eindrücke stärker bei Verum- als bei Sham-tDCS vorhanden waren, konnte nicht zuverlässig zwischen Sham- und Verum-tDCS unterschieden werden (Russo et al. 2013; Wallace et al. 2016). Das bedeutet, dass ein Proband aufgrund sensorisch unterschiedlich wahrgenommener Stimulationen nicht zwingend darauf schließen muss, eine Placebo-Behandlung erhalten zu haben. Bei der Mehrzahl unserer Probanden war dies dennoch der Fall. Trotz vieler Studien also, die teilweise sogar länger als wir (beispielsweise 30 Minuten bei Russo und Palm et al.) mit derselben Stromstärke vorgingen und ihre Scheinbehandlung erfolgreich verblindeten, schließen wir aus unseren Ergebnissen, dass eine Modifikation der Stromstärke notwendig sein könnte, um eine Placebo-Bedingung adäquat zu verblinden (Russo et al. 2013; Palm et al. 2013). Da gezeigt wurde, dass bereits bei 1.5 mA Stromstärke die Verum- gegenüber der Scheinstimulation unangenehmer empfunden wird, und wenig Literatur zu dieser Stromintensität vorhanden ist, sehen wir einen Wert von 1 mA als vielversprechend an (Kessler et al. 2012). Dies untermauert ein kürzlich erschienenes Review über tDCS des Motorkortex, in dem festgestellt wurde, dass Stromstärken unter 1 mA bei Applizierung über mehr als 10 Minuten erstaunlicherweise sogar mehr Effekte herbeiführten als höhere Stromstärken (Dissanayaka et al. 2017). Die Stromintensität zu verringern entspräche auch den Empfehlungen von Davis und Kollegen, um Hautempfindungen zu reduzieren (Davis et al. 2013). Daneben sei eine Erniedrigung der Stromdichte oder eine Erhöhung der Fade-in-Zeit denkbar (Davis et al. 2013). Auch wenn die Sinnhaftigkeit einer Reduktion der Stromdichte kontrovers diskutiert wird (vgl. 4.2), so wäre eine Erhöhung der Fade-in-Zeit leicht umsetzbar. Ein Verbesserungsvorschlag für zukünftige Untersuchungen ist sicher auch der Einsatz eines präzisen Nebenwirkungs-Fragebogens, welcher genauere Vergleiche mit den in anderen Arbeiten berichteten Nebenwirkungen ermöglichen würde und wie er in einem Review von Brunoni und Kollegen vorgeschlagen wurde (Brunoni et al. 2011). Jener Fragebogen solle die am häufigsten zu erwartenden Nebenwirkungen quantifizierbar machen, die da wären Jucken, Kribbeln, Kopfschmerz, Brennen und Unannehmlichkeit (Brunoni et al.) – wobei laut Fertoni und Mitarbeitern zu erwarten sei, dass einige dieser Qualitäten (wie Jucken und Kribbeln) stark miteinander korrelieren und somit zum Teil doch zusammengefasst werden könnten (Brunoni et al. 2011; Fertoni et al. 2015).

#### 4.10.4 Elektrodenplatzierung

In vielen Arbeiten wurde im Gegensatz zu unseren Versuchen die Anode bei Scheinbehandlung an denselben Ort platziert wie bei echter Stimulation (Kekic et al. 2014; Gandiga et al. 2006; Montenegro et al. 2012; Chivers und Bailey 2005; Goldman et al. 2011; Boggio et al. 2008b; Fregni et al. 2008b; Fregni et al. 2008a). Es ist einleuchtend, dass die Positionierung der aktiven Elektrode (welche für gewöhnlich Empfindungen auf der Haut hervorruft, vgl. 1.2) einen Einfluss auf das Empfinden der Stimulation hat, da wegen der unterschiedlichen Innervierung der Hautareale am Kopf diese damit auch verschieden sensibel sind. Möglicherweise reagierte die mittige Stirnhaut (der Platzierungsort der Anode bei unserer Sham-Sitzung) weniger empfindlich auf die tDCS als die über den DLPFC und ermöglichte eine angenehmere Sitzung – sowie auch weniger Hautkribbeln. Insbesondere dann, wenn ein größeres Probandenkollektiv als das vorliegende zur Verfügung stünde, wäre es in diesem Zusammenhang beispielsweise denkbar, der Hälfte der Versuchspersonen nur rechtsseitig und der anderen Hälfte nur linksseitig über dem DLPFC Verum- und Scheinstimulation angedeihen zu lassen. Leider ginge hierdurch wiederum der Innersubjekt-Faktor hinsichtlich unterschiedlicher Effekte bei Stimulation der linken gegenüber der rechten Hemisphäre verloren.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist der unserer Kathodenplatzierung. Es besteht die Möglichkeit, dass in Anlehnung an Moliadze et al. bei unserem Versuchsaufbau der relativ weite Abstand der Anode zur Referenzelektrode (Kathode) zu einer Abschwächung der Effekte der tDCS geführt haben könnte (Moliadze et al. 2010). Dennoch – selbst in diesem Fall könnte man erwarten, dass die in unserer Studie eingesetzte Stromstärke (2 mA) noch Auswirkungen gehabt hätte, da einem systematischen Review zufolge interessanterweise sogar mehr Effekte bei Stromstärken von unter 2 mA beobachtet wurden (Dissanayaka et al. 2017). Selbst wenn unsere Elektrodenplatzierung wohl überlegt geschah (vgl. 2.2.4.7), so ist retrospektiv zu überlegen, ob die Kathode in zukünftigen Untersuchungen nicht doch an der kontralateralen Supraorbitalregion oder am kontralateralen DLPFC anzubringen wäre – vorausgesetzt der Mindestabstand von 5 cm zwischen beiden Elektroden bliebe erhalten (vgl. 2.2.4.7). Ein Nicht-Erfüllen der letzten Voraussetzung wiederum könnte eine Reduktion der von uns gewählten Kathodenfläche notwendig machen – mit den im Methodenteil beschriebenen Nachteilen. Dass dieser Versuchsaufbau generell möglich ist, zeigen Studien von Fregni, Boggio und Kollegen, welche Elektrodenflächen wie die unseren benutzten und (bei Anode über einem DLPFC) die Referenzelektrode auf dem kontralateralen DLPFC positionierten (Boggio et al. 2009; Fregni et al. 2008a).

Ergebnisse einer Arbeit von Boggio und Kollegen weisen darauf hin, dass die Effekte der Kathode bei deren Platzierung über der kontralateralen Supraorbitalregion vernachlässigbar sind (Boggio et al. 2008a). Die Forscher teilten die Kontrollen einer Studie mit Parallel-Studiendesign in eine aktive und eine passive Probandengruppe ein: Die aktive erhielt anodale tDCS über der Okzipitalregion, die passive Sham-tDCS über dem linken DLPFC (Boggio et al. 2008a). Die Kathode befand sich ausschließlich über der rechten Supraorbitalregion; die Anode bei Verum-tDCS (analog der Sham-Kontrollgruppe) über dem linken DLPFC (Boggio et al. 2008a). Die durch die tDCS bedingten Effekte erreichten nur bei Verum-Stimulation (nicht hingegen bei der aktiven Kontrolle) Signifikanz gegenüber der Sham-Stimulation, d. h. die kathodalen Effekte waren bei jenem Versuchsaufbau vernachlässigbar (Boggio et al. 2008a).

Ob ein Anbringen der Kathode über der kontralateralen Supraorbitalregion jedoch für die vorliegende Fragestellung sinnvoll ist, wirft Zweifel auf. In denjenigen Studien, in welchen man eine Reduktion von reizinduziertem Craving nach tDCS über dem rechten DLPFC beobachtete, wurde die Kathode über dem linken DLPFC platziert (Fregni et al. 2008b; Fregni et al. 2008a; Boggio et al. 2008b; Goldman et al. 2011; Boggio et al. 2010b; Jauch-Chara et al. 2014; Khedr et al. 2014; Lapenta et al. 2014; Kekic et al. 2014). Auch die Forschungsgruppen, die durch anodale tDCS des rechten DLPFC eine erhöhte kognitive Kontrollfähigkeit, vernünftigeren Entscheidungsfindung oder Herabsetzung risikofreudigen Verhaltens zeigen konnten, platzierten die Kathode über dem kontralateralen DLPFC (Burgess et al. 2016; Fecteau et al. 2007; Fecteau et al. 2014).

Demgegenüber stehen die Untersuchungen, welche eine Reduzierung von Craving nach links-anodaler tDCS des DLPFC erreichten. Nur bei einigen von diesen wurde die Kathode über dem kontralateralen DLPFC positioniert (Fregni et al. 2008a; Boggio et al. 2008b; Boggio et al. 2009). Hierzu muss angemerkt werden, dass zwei dieser drei Studien ein Cross-over-Design hatten, bei dem sich signifikante Effekte ebenfalls bei Seitentausch der Elektroden zeigten (d. h., Anode über rechtem DLPFC, Kathode über linkem DLPFC), s. oben (Boggio et al. 2008b; Fregni et al. 2008a). Durch anodale tDCS des linken DLPFC bei Platzierung der Kathode über dem kontralateralen DLPFC erhöhten Loftus und Kollegen außerdem inhibitorische Fähigkeiten bei ihren Probanden (Loftus et al. 2015). Des Öfteren wurde jedoch bei anodaler tDCS des linken DLPFC als Anbringungsort der Kathode (anstatt des rechten DLPFC) beispielsweise die kontralaterale Supraorbitalregion benutzt (Montenegro et al. 2012; Nakamura-Palacios et al. 2012; Falcone et al. 2016; Boggio et al. 2008a). Ein anderes Beispiel

eines Platzierungsortes der Kathode bei Anode über dem linken DLPFC ist der kontralaterale Orbitofrontalkortex (Krocze et al. 2016).

Kurzum, bei den Studien, bei welchen eine Steigerung der Aktivität des rechten DLPFC zu Effekten führte, wurde gleichzeitig auch der linke DLPFC in seiner Aktivität gemindert. Für die linke Hemisphäre scheint im Gegenzug eine Aktivitätsminderung der kontralateralen Seite möglicherweise nicht zwingend notwendig zu sein, um Craving zu beeinflussen.

Dies erweckt zwei entscheidende Fragen. Erstens, ob nicht die Kombination einer bestimmten Elektrodenplatzierung zu den erzielten Effekten in den genannten Studien führte. Der Umstand, dass es keine Literatur zum Thema zu geben scheint, in der von signifikanten Effekten bei Platzierung der Referenzelektrode andernorts als über dem linken DLPFC (Anode über dem rechten DLPFC) berichtet wird, spricht dafür, dass – bei rechts-anodaler tDCS des DLPFC – tatsächlich die gleichzeitige Aktivitätsminderung des linken DLPFC für die Effekte entscheidend bzw. notwendig sein könnte. Der Fakt, dass auch wir in unseren Untersuchungen (Kathode okzipital) SV kaum beeinflussen konnten, unterstützt diese Hypothese. Studien hingegen, welche durch Aktivitätssteigerung des rechten DLPFC allein – mittels hochfrequenter rTMS – eine signifikante Reduktion von Craving erreichen konnten, sprechen wiederum dagegen. Wenngleich die Wirkweise der rTMS nicht absolut mit der der tDCS gleichzusetzen ist (vgl. 1.2), werden durch sie verursachte Auswirkungen an dieser Stelle dennoch annähernd als Vergleich angeführt. Camprodon et al. beispielsweise zeigten durch hochfrequente rTMS über dem rechten (nicht aber dem linken) DLPFC eine Reduktion von Craving nach Cocain bei abhängigen Probanden (Camprodon et al. 2007). Auch Mishra und Kollegen wiesen anhand des gleichen Vorgehens eine signifikante Reduktion von Craving nach Alkohol bei abhängigen Versuchspersonen gegenüber Scheinbehandlung nach (Mishra et al. 2010). Andererseits gibt es auch Literatur, die im Widerspruch mit diesen Ergebnissen steht: Herremans et al. konnten durch hochfrequente rTMS des rechten DLPFC bei alkoholkranken Probanden keine Reduktion des Cravings im Vergleich zu Scheinstimulation erreichen (Herremans et al. 2012).

Auch bei linksseitiger anodaler tDCS des DLPFC wich unsere Kathodenplatzierung von der anderer Studien ab. Da bei jenen Arbeiten die Kathodenplatzierungsorte wie beschrieben divergierten, ist die Notwendigkeit einer bestimmten Kombination des Ortes der Elektrodenplatzierung fraglicher als bei rechts-anodaler tDCS. Bis dato wurde quantitativ weniger Literatur über erfolgreiche Senkung von Craving durch linksseitige tDCS des DLPFC als durch rechtsseitige publiziert. Gleichzeitig scheint es mehr Veröffentlichungen zu geben

über rTMS-Untersuchungen, welche erfolgreich Craving durch linksseitige Stimulation des DLPFC modulieren konnten als durch rechtsseitige. So zeigten diverse Arbeiten eine Reduktion von reizinduziertem Craving nach Aktivitätssteigerung des linken (nicht aber des rechten) DLPFC (Li et al. 2013; Amiaz et al. 2009; Jansen et al. 2013; Politi et al. 2008). Da rTMS im Gegensatz zur tDCS unifokal appliziert wird (es wird keine Kathode benötigt, welche entgegengesetzte Wirkungen wie die der Anode zeigt), könnte die Vermutung aufgestellt werden, dass eben diese Aktivitätssteigerung des linken DLPFC allein den entscheidenden Handgriff darstellt, um Verlangen zu beeinflussen, und zwar ungeachtet etwaiger Aktivitätsminderungen anderer Hirnareale.

Die zweite Frage ist, ob nicht auch beide DLPFC unterschiedliche Aspekte der Inhibition bedienen könnten. Fregni und Kollegen schlugen vor, dass der rechte DLPFC – u. a. aufgrund seiner schon diskutierten Involvierung in Entscheidungsfindungsprozesse – möglicherweise für eine generelle Craving-Reduzierung verantwortlich sein könnte, wobei der linke eher ein Modulationsvermögen bezüglich Craving nach speziellen Objekten (spezifisches Essen im Falle jener Studie) besäße (Fregni et al. 2008b). Im Falle unterschiedlicher Zuständigkeit beider Hemisphären ist es auch nicht abwegig, dass die externe Beeinflussung der Hirnaktivität damit ebenfalls unterschiedlich bewerkstelligt werden könnte.

Vorhandene Literatur zum Thema Reduktion von Craving durch tDCS oder rTMS des DLPFC suggeriert also, dass für das Erzielen von Effekten durch rechtsseitige Stimulation die gleichzeitige Aktivitätsminderung kontralateral notwendig ist – ersichtlich daran, dass es erstens im Falle von tDCS keine Veröffentlichungen zu geben scheint, bei welchen die Kathode anderenorts als über den linken DLPFC platziert wurde und zweitens (im Falle von rTMS), dass die ohnehin schon wenigen Veröffentlichungen, die nach rechtseitiger Stimulation Effekte zeigten, durch andere Studienergebnisse in Frage gestellt werden. Bei der linken Hemisphäre scheint die Aktivitätssteigerung des DLPFC (beispielsweise durch hochfrequente rTMS) selbst wichtiger zu sein als die Interaktion mit einem gleichzeitig aktivitätsgeminderten rechten DLPFC (oder bestimmten anderen Hirnregionen). Dennoch, die letztendliche Klärung dieser Frage bedarf weiterer Untersuchungen und wird sich möglicherweise auch komplex darstellen angesichts der Tatsache, dass ein „allgemeines Craving“ schwer messbar sein könnte. Bei Experimenten steht nur ein eingeschränkter Zeitrahmen zur Verfügung und vor allem ist es zu Objektivierungszwecken fast unumgänglich, das Craving nach einem bestimmten Objekt zu testen.

In der Zusammenschau der Erkenntnisse der vorliegenden Studie und verwandter Arbeiten können wir uns für zukünftige tDCS-Untersuchungen ein Anbringen der Kathode über dem jeweils kontralateralen DLPFC vorstellen. Dieser Versuchsaufbau scheint am vielversprechendsten, um Effekte im Sinne einer Senkung reizinduzierten Cravings generieren zu können.

#### 4.10.5 Physiologische Erfassung von SV

Im Hinblick darauf, dass die HRV-Maße weder signifikante Dreifachinteraktionen aufwiesen, noch mit den Rating-Werten korrelierten (vgl. 3.5 und 3.6), erhebt sich die Frage, ob für zukünftige Untersuchungen nicht andere physiologische Erfassungsmöglichkeiten sexuellen Verlangens vorlägen. Für eine direkte Messung sexueller Erregung hat sich bei männlichen Probanden als Goldstandard die sog. Phallographie (auch Penis-Plethysmographie genannt) etabliert (Laws 2009). Hierbei wird die Erektion des männlichen Gliedes quantifiziert, indem volumetrische Änderungen des sich mit Blut füllenden Penis aufgezeichnet werden (Laws 2009). Dennoch soll dieses Messverfahren aufwändig sein und wurde seit seiner Implementierung in den 1960er Jahren kaum überarbeitet und standardisiert, was seinen Einsatz wiederum unpraktisch macht (Laws 2009). Laws, einer der Pioniere der Phallographie im letzten Jahrhundert, gibt zu bemerken, dass die Kognition die entscheidende Rolle bei sexueller Erregung spiele und es fraglich sei, ob sich anhand der erhobenen physiologischen Werte diesem mentalen Prozess überhaupt mehr als angenähert werden könne (Laws 2009). Darüber hinaus gibt es Arbeiten, welche keine Korrelation zwischen subjektiv empfundenen Grad an sexueller Erregung und Penis-Umfang nachweisen konnten (Heiman und Rowland 1983). Ob also die Phallographie die letztendliche Antwort auf die Frage einer möglichst objektivierbaren Repräsentation sexuellen Verlangens/sexueller Erregung darstellt, bleibt offen.

#### 4.10.6 Sonstige Anregungen für zukünftige Versuche

Die gewonnenen Erkenntnisse können als Anregung dienen, wiederholte und in engerer Abfolge abgehaltene tDCS-Sitzungen durchzuführen, um herauszufinden, ob sich zum einen die beobachteten Effekte (Hinweis auf eine Senkung reizinduzierten SV nach Verum-tDCS des DLPFC im Vergleich zu Scheinstimulation) akkumulieren und zum anderen, ob sie dadurch auch noch über einen längeren Zeitraum nachweisbar sind – analog dem z. T. bereits etablierten Vorgehen u. a. bei der Behandlung von Aphasie nach Schlaganfall oder von Depressionen

(Meinzer et al. 2016; Marangolo et al. 2013; Boggio et al. 2008a; Nitsche et al. 2009).  
Möglicherweise könnten sich hierdurch wertvolle Alternativen zu bis dato herkömmlichen  
Therapiemöglichkeiten beispielsweise bei hypo- oder hypersexuellen Störungen ergeben.



## 5 Zusammenfassung

Reizinduziertes Craving (Verlangen) nach Essen, Nikotin oder anderen Drogen kann mittels transkranieller Gleichstromstimulation (tDCS) des Dorsolateralen Präfrontalen Kortex (DLPFC) beeinflusst werden. Die bei sexuellem Verlangen (SV) erfolgende Aktivierung ähnlicher neuronaler Schaltkreise wie die bei Craving legt nahe, dass man SV ebenfalls mit tDCS modulieren könnte.

Daher untersuchten wir in der vorliegenden Arbeit, ob tDCS zu einer Beeinflussung von SV bei heterosexuellen männlichen Probanden (n=23) führen kann. An drei Versuchsterminen (balanciert, randomisiert) im Abstand von je einer Woche wurde tDCS über dem rechten DLPFC, dem linken DLPFC, sowie mittig an der Stirn (Scheinstimulation) vorgenommen. Zusätzlich wurden die Herzrate (HR) und Maße der Herzratenvariabilität (HRV) analysiert. Bei den einzelnen Versuchen wurde den Probanden ein erster Videoblock (mit Natur-, Sport- und erotischen Aufnahmen) gezeigt, anschließend erfolgte die tDCS (20 Min, 2mA Stromstärke) und zuletzt wurde derselbe Videoblock wie anfangs gezeigt. Die Probanden bewerteten den subjektiv empfundenen Grad ihres SV anhand von zehn Ratingfragen nach jedem einzelnen Video.

Es gelang uns nicht sicher, SV anhand von tDCS des DLPFC zu beeinflussen. Nur eine der zehn Ratingfragen (Q7) wies signifikante Dreifachinteraktionen in den Varianzanalysen auf. Nach rechtsseitiger (nicht aber linksseitiger) anodaler tDCS des DLPFC war das SV im Vergleich zur Scheinstimulation tendenziell niedriger als davor. Das SV nach Scheinstimulation war im Vergleich zur Ausgangssituation signifikant gestiegen, nach rechtsseitiger tDCS nicht-signifikant gesunken und blieb nach linksseitiger Stimulation praktisch unverändert. Zu unseren Hauptergebnissen zählt, dass unsere Scheinbehandlung von einem Großteil der Probanden aufgrund signifikant niedrigerer Unannehmlichkeit sowie spürbar weniger Hautkribbelns unter der Stirnelektrode richtig erraten wurde. Damit funktionierte die Verblindung mit dem von uns gewählten Versuchsaufbau nicht adäquat. Ferner wiesen die HR und HRV keine signifikanten Dreifachinteraktionen auf; HR und HRV korrelierten zudem nicht mit SV.

Dass tDCS des rechten DLPFC reizinduziertes Craving reduziert, ist statistisch gut belegt. Der rechte DLPFC ist neben der inhibitorischen Funktion in Bezug auf Craving (welche durch anodale tDCS gesteigert wird) auch involviert in Top-down-Prozessen der Kognition und des Verhaltens, wie beispielsweise Aufmerksamkeitsfokussierung und Hemmung gefährdender

oder unangepasster Verhaltensweisen. Diese Aspekte waren bei unseren Versuchen von Interesse, da eine Regulierung bzw. Kontrollierung des induzierten SV im Kontext des Laborsettings erfolgen musste. Fehlende Korrelationen zwischen Verlangen und HR bzw. HRV parallelisieren die Ergebnisse anderer Arbeiten.

Für zukünftige Versuche schlagen wir den Einsatz einer Stromstärke von 1 mA bei Platzierung der Referenzelektrode über dem kontralateralen DLPFC vor.

## 6 Anhang

Tabelle 7: Post-hoc Test zu Ratingfrage 7 – rechts vs. links

	pre Tennis	post Tennis	pre Porno	post Porno
T	0.214	0.295	1.500	-0.960
df	22	22	22	22
p	0.833	0.770	0.148	0.348

Tabelle 8: Post-hoc Test zu Ratingfrage 7 – rechts vs. sham

	pre Tennis	post Tennis	pre Porno	post Porno
T	0.699	-0.463	1.500	-1.974
df	22	22	22	22
p	0.492	0.648	0.148	0.061

Tabelle 9: Post-hoc Test zu Ratingfrage 7 – links vs. sham

	pre Tennis	post Tennis	pre Porno	post Porno
T	0.720	-1.367	0.000	-1.318
df	22	22	22	22
p	0.479	0.186	1.000	0.201

**Check vor 1. Messung**  Internetfragebögen ausgewertet  Aufklärung erfolgt

Beziehungsstatus: \_\_\_\_\_

**Messung 1:** \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Karenz in den letzten 24 Stunden:  JA  NEIN, vor \_\_\_\_\_ Stunden

Nebenwirkungen: \_\_\_\_\_

Wie unangenehm war die Stimulation (Skala: 0-10 (gar nicht – sehr unangenehm))? \_\_\_\_\_

Hatten Sie den Eindruck, dass die heutige Stimulation einen Einfluss auf Ihr sexuelles Verlangen hatte?  JA  NEIN

Anmerkungen: \_\_\_\_\_

**Messung 2:** \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Karenz in den letzten 24 Stunden:  JA  NEIN, vor \_\_\_\_\_ Stunden

Nebenwirkungen: \_\_\_\_\_

Wie unangenehm war die Stimulation (Skala: 0-10 (gar nicht – sehr unangenehm))? \_\_\_\_\_

Hatten Sie den Eindruck, dass die heutige Stimulation einen Einfluss auf Ihr sexuelles Verlangen hatte?  JA  NEIN

Anmerkungen: \_\_\_\_\_

**Messung 3:** \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ Uhrzeit: \_\_\_\_\_

Karenz in den letzten 24 Stunden:  JA  NEIN, vor \_\_\_\_\_ Stunden

Nebenwirkungen: \_\_\_\_\_

Wie unangenehm war die Stimulation (Skala: 0-10 (gar nicht – sehr unangenehm))? \_\_\_\_\_

Hatten Sie den Eindruck, dass die heutige Stimulation einen Einfluss auf Ihr sexuelles Verlangen hatte?  JA  NEIN

Anmerkungen: \_\_\_\_\_

Hatten Sie den Eindruck, dass eine der Stimulationen keine echte, sondern eine Scheinstimulation war?  JA  NEIN

Wenn ja bzw. wenn Sie raten müssten, welche der Stimulation war die Scheinbehandlung?  
 Sitzung 1  Sitzung 2  Sitzung 3

## 7 Literaturverzeichnis

- Akselrod, S.; Gordon, D.; Ubel, F. A.; Shannon, D. C.; Berger, A. C.; Cohen, R. J. (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. In: *Science* 213 (4504), S. 220–222. DOI: 10.1126/science.6166045.
- Allen, M. T.; Matthews, K. A.; Kenyon, K. L. (2000): The relationships of resting baroreflex sensitivity, heart rate variability and measures of impulse control in children and adolescents. In: *International journal of psychophysiology: Official journal of the international organization of psychophysiology* 37 (2), S. 185–194. DOI: 10.1016/S0167-8760(00)00089-1.
- Ambrus, G. G.; Al-Moyed, H.; Chaieb, L.; Sarp, L.; Antal, A.; Paulus, W. (2012): The fade-in – short stimulation – fade out approach to sham tDCS – reliable at 1 mA for naive and experienced subjects, but not investigators. In: *Brain stimulation* 5 (4), S. 499–504. DOI: 10.1016/j.brs.2011.12.001.
- Amiaz, R.; Levy, D.; Vainiger, D.; Grunhaus, L.; Zangen, A. (2009): Repeated high-frequency transcranial magnetic stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex reduces cigarette craving and consumption. In: *Addiction* 104 (4), S. 653–660. DOI: 10.1111/j.1360-0443.2008.02448.x.
- Appel, M. L.; Berger, R. D.; Saul, J. P.; Smith, J. M.; Cohen, R. J. (1989): Beat to beat variability in cardiovascular variables: Noise or music? In: *Journal of the American college of cardiology* 14 (5), S. 1139–1148. DOI: 10.1016/0735-1097(89)90408-7.
- Appelhans, B. M.; Luecken, L. J. (2006): Heart rate variability as an index of regulated emotional responding. In: *Review of general psychology* 10 (3), S. 229–240. DOI: 10.1037/1089-2680.10.3.229.
- Auffenberg, G. B.; Pariser, J. J.; Helfand, B. T. (2016): Normal erectile physiology. In: T. S. Köhler und K. T. McVary (Hg.): *Contemporary treatment of erectile dysfunction. A clinical guide*. 2. Aufl. Cham: Springer International Publishing (Contemporary endocrinology), S. 17–27.
- Bai, S.; Dokos, S.; Ho, K.-A.; Loo, C. (2014): A computational modelling study of transcranial direct current stimulation montages used in depression. In: *NeuroImage* 87, S. 332–344. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.11.015.
- Barr, M. S.; Farzan, F.; Wing, V. C.; George, T. P.; Fitzgerald, P. B.; Daskalakis, Z. J. (2011): Repetitive transcranial magnetic stimulation and drug addiction. In: *International review of psychiatry* 23 (5), S. 454–466. DOI: 10.3109/09540261.2011.618827.
- Barth, K. S.; Rydin-Gray, S.; Kose, S.; Borckardt, J. J.; O'Neil, P. M.; Shaw, D. et al. (2011): Food cravings and the effects of left prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation using an improved sham condition. In: *Frontiers in psychiatry* 2, S. 9. DOI: 10.3389/fpsy.2011.00009.
- Barutcu, I.; Esen, A. M.; Kaya, D.; Turkmen, M.; Karakaya, O.; Melek, M. et al. (2005): Cigarette smoking and heart rate variability: Dynamic influence of parasympathetic and sympathetic maneuvers. In: *Annals of noninvasive electrocardiology: The official journal of the international society for holter and noninvasive electrocardiology* 10 (3), S. 324–329. DOI: 10.1111/j.1542-474X.2005.00636.x.

- Batsikadze, G.; Moliadze, V.; Paulus, W.; Kuo, M.-F.; Nitsche, M. A. (2013): Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. In: *The journal of physiology* 591 (7), S. 1987–2000. DOI: 10.1113/jphysiol.2012.249730.
- Bear, M. F.; Connors, B. W.; Paradiso, M. A. (1996): Neuroscience. Exploring the brain. 3. ed. (2007). Baltimore, Md.: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beauregard, M.; Levesque, J.; Bourgouin, P. (2001): Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. In: *The journal of neuroscience: The official journal of the society for neuroscience* 21 (RC165).
- Beck, A. T.; Ward, C. H.; Mendelson, M.; Mock, J.; Erbaugh, J. (1961): An inventory for measuring depression. In: *Archives of general psychiatry* 4 (6), S. 561–571. DOI: 10.1001/archpsyc.1961.01710120031004.
- Bikson, M.; Datta, A.; Elwassif, M. (2009): Establishing safety limits for transcranial direct current stimulation. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 120 (6), S. 1033–1034. DOI: 10.1016/j.clinph.2009.03.018.
- Bindman, L. J.; Lippold, O. C. J.; Redfearn, J. W. T. (1962): Long-lasting changes in the level of the electrical activity of the cerebral cortex produced by polarizing currents. In: *Nature* 196 (4854), S. 584–585. DOI: 10.1038/196584a0.
- Bloomfield, D. M.; Kaufman, E. S.; Bigger Jr., J. T.; Fleiss, J.; Rolnitzky, L.; Steinman, R. (1997): Passive head-up tilt and actively standing up produce similar overall changes in autonomic balance. In: *American heart journal* 134 (2 Pt 1), S. 316–320. DOI: 10.1016/S0002-8703(97)70140-6.
- Boggio, P. S.; Campanha, C.; Valasek, C. A.; Fecteau, S.; Pascual-Leone, A.; Fregni, F. (2010a): Modulation of decision-making in a gambling task in older adults with transcranial direct current stimulation. In: *The European journal of neuroscience* 31 (3), S. 593–597. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2010.07080.x.
- Boggio, P. S.; Liguori, P.; Sultani, N.; Rezende, L.; Fecteau, S.; Fregni, F. (2009): Cumulative priming effects of cortical stimulation on smoking cue-induced craving. In: *Neuroscience letters* 463 (1), S. 82–86. DOI: 10.1016/j.neulet.2009.07.041.
- Boggio, P. S.; Rigonatti, S. P.; Ribeiro, R. B.; Myczkowski, M. L.; Nitsche, M. A.; Pascual-Leone, A.; Fregni, F. (2008a): A randomized, double-blind clinical trial on the efficacy of cortical direct current stimulation for the treatment of major depression. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 11 (2), S. 249–254. DOI: 10.1017/S1461145707007833.
- Boggio, P. S.; Sultani, N.; Fecteau, S.; Merabet, L.; Mecca, T.; Pascual-Leone, A. et al. (2008b): Prefrontal cortex modulation using transcranial DC stimulation reduces alcohol craving: A double-blind, sham-controlled study. In: *Drug and alcohol dependence* 92 (1-3), S. 55–60. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2007.06.011.
- Boggio, P. S.; Zaghi, S.; Villani, A. B.; Fecteau, S.; Pascual-Leone, A.; Fregni, F. (2010b): Modulation of risk-taking in marijuana users by transcranial direct current stimulation (tDCS) of the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC). In: *Drug and alcohol dependence* 112 (3), S. 220–225. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2010.06.019.

- Brevet-Aeby, C.; Brunelin, J.; Iceta, S.; Padovan, C.; Poulet, E. (2016): Prefrontal cortex and impulsivity: Interest of noninvasive brain stimulation. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 71, S. 112–134. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.08.028.
- Brindley, G. S. (1983): Physiology of erection and management of paraplegic infertility. In: T. B. Hargreave (Hg.): *Male infertility*. London: Springer London (Clinical Practice in Urology), S. 261–279.
- Brindley, G. S. (1988): The Ferrier lecture, 1986. The actions of parasympathetic and sympathetic nerves in human micturition, erection and seminal emission, and their restoration in paraplegic patients by implanted electrical stimulators. In: *Proceedings of the royal society of London. Series B, Biological sciences* 235 (1279), S. 111–120. DOI: 10.1098/rspb.1988.0066.
- Brody, A. L.; Mandelkern, M. A.; London, E. D.; Childress, A. R.; Lee, G. S.; Bota, R. G. et al. (2002): Brain metabolic changes during cigarette craving. In: *Archives of general psychiatry* 59 (12), S. 1162–1172. DOI: 10.1001/archpsyc.59.12.1162.
- Brunoni, A. R.; Amadera, J.; Berbel, B.; Volz, M. S.; Rizzerio, B. G.; Fregni, F. (2011): A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 14 (8), S. 1133–1145. DOI: 10.1017/S1461145710001690.
- Brunoni, A. R.; Nitsche, M. A.; Bolognini, N.; Bikson, M.; Wagner, T.; Merabet, L. et al. (2012): Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): Challenges and future directions. In: *Brain stimulation* 5 (3), S. 175–195. DOI: 10.1016/j.brs.2011.03.002.
- Brunoni, A. R.; Schestatsky, P.; Lotufo, P. A.; Bensenor, I. M.; Fregni, F. (2014): Comparison of blinding effectiveness between sham tDCS and placebo sertraline in a 6-week major depression randomized clinical trial. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 125 (2), S. 298–305. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.07.020.
- Burgess, E. E.; Sylvester, M. D.; Morse, K. E.; Amthor, F. R.; Mrug, S.; Lokken, K. L. et al. (2016): Effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on binge-eating disorder. In: *The international journal of eating disorders* 49 (10), S. 930–936. DOI: 10.1002/eat.22554.
- Camprodon, J. A.; Martinez-Raga, J.; Alonso-Alonso, M.; Shih, M.-C.; Pascual-Leone, A. (2007): One session of high frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) to the right prefrontal cortex transiently reduces cocaine craving. In: *Drug and alcohol dependence* 86 (1), S. 91–94. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2006.06.002.
- Carter, B. L.; Tiffany, S. T. (1999): Meta-analysis of cue-reactivity in addiction research. In: *Addiction* 94 (3), S. 327–340. DOI: 10.1046/j.1360-0443.1999.9433273.x.
- Cazalis, F.; Feydy, A.; Valabrègue, R.; Pélégriani-Issac, M.; Pierot, L.; Azouvi, P. (2006): fMRI study of problem-solving after severe traumatic brain injury. In: *Brain injury* 20 (10), S. 1019–1028. DOI: 10.1080/02699050600664384.
- Cepeda-Benito, A.; Gleaves, D. H.; Fernandez, M. C.; Vila, J.; Williams, T. L.; Reynoso, J. (2000): The development and validation of spanish versions of the state and trait food cravings questionnaires. In: *Behaviour research and therapy* 38 (11), S. 1125–1138. DOI: 10.1016/S0005-7967(99)00141-2.

- Cepeda-Benito, A.; Tiffany, S. T. (1996): The use of a dual-task procedure for the assessment of cognitive effort associated with cigarette craving. In: *Psychopharmacology* 127 (2), S. 155–163. DOI: 10.1007/BF02805989.
- Chen, R.; Classen, J.; Gerloff, C.; Celnik, P.; Wassermann, E. M.; Hallett, M.; Cohen, L. G. (1997): Depression of motor cortex excitability by low-frequency transcranial magnetic stimulation. In: *Neurology* 48 (5), S. 1398–1403. DOI: 10.1212/WNL.48.5.1398.
- Chivers, M. L.; Bailey, J. M. (2005): A sex difference in features that elicit genital response. In: *Biological psychology* 70 (2), S. 115–120. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2004.12.002.
- Chivers, M. L.; Rieger, G.; Latty, E.; Bailey, J. M. (2004): A sex difference in the specificity of sexual arousal. In: *Psychological science* 15 (11), S. 736–744. DOI: 10.1111/j.0956-7976.2004.00750.x.
- Chivers, M. L.; Seto, M. C.; Lalumiere, M. L.; Laan, E.; Grimbos, T. (2010): Agreement of self-reported and genital measures of sexual arousal in men and women: A meta-analysis. In: *Archives of sexual behavior* 39 (1), S. 5–56. DOI: 10.1007/s10508-009-9556-9.
- Cogiamanian, F.; Ardolino, G.; Vergari, M.; Ferrucci, R.; Ciocca, M.; Scelzo, E. et al. (2012): Transcutaneous spinal direct current stimulation. In: *Frontiers in psychiatry* 3 (Article 63). DOI: 10.3389/fpsy.2012.00063.
- Cogiamanian, F.; Vergari, M.; Pulecchi, F.; Marceglia, S.; Priori, A. (2008): Effect of spinal transcutaneous direct current stimulation on somatosensory evoked potentials in humans. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 119 (11), S. 2636–2640. DOI: 10.1016/j.clinph.2008.07.249.
- Cummings, J. L. (1993): Frontal-subcortical circuits and human behavior. In: *Archives of neurology* 50 (8), S. 873–880. DOI: 10.1001/archneur.1993.00540080076020.
- Damasio, A. R. (1994): *Descartes' error: Emotion, reason and the human brain*. New York: Avon Books.
- Davis, N. J.; Gold, E.; Pascual-Leone, A.; Bracewell, R. M. (2013): Challenges of proper placebo control for non-invasive brain stimulation in clinical and experimental applications. In: *The European journal of neuroscience* 38 (7), S. 2973–2977. DOI: 10.1111/ejn.12307.
- Day, S. J.; Altman, D. G. (2000): Blinding in clinical trials and other studies. In: *BMJ* 321 (7259), S. 504. DOI: 10.1136/bmj.321.7259.504.
- Deegener, G. (1996): *Multiphasic sex inventory (MSI). Fragebogen zur Erfassung psychosexueller Merkmale bei Sexualtätern*. 1. Aufl. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Dissanayaka, T.; Zoghi, M.; Farrell, M.; Egan, G. F.; Jaberzadeh, S. (2017): Does transcranial electrical stimulation enhance corticospinal excitability of the motor cortex in healthy individuals? A systematic review and meta-analysis. In: *The European journal of neuroscience* 46 (4), S. 1968–1990. DOI: 10.1111/ejn.13640.
- Drobes, D. J.; Tiffany, S. T. (1997): Induction of smoking urge through imaginal and in vivo procedures: Physiological and self-report manifestations. In: *Journal of abnormal psychology* 106 (1), S. 15–25. DOI: 10.1037//0021-843X.106.1.15.



- Durand, S.; Fromy, B.; Bouye, Ph; Saumet, J. L.; Abraham, P. (2002): Vasodilatation in response to repeated anodal current application in the human skin relies on aspirin-sensitive mechanisms. In: *The journal of physiology* 540 (Pt 1), S. 261–269. DOI: 10.1113/jphysiol.2001.013364.
- Durant, L. E.; Carey, M. P.; Schroder, K. E. E. (2002): Effects of anonymity, gender, and erotophilia on the quality of data obtained from self-reports of socially sensitive behaviors. In: *Journal of behavioral medicine* 25 (5), S. 438–467. DOI: 10.1023/A:1020419023766.
- Eddie, D.; Vaschillo, E.; Lehrer, P. (2015): Heart rate variability biofeedback: Theoretical basis, delivery, and its potential for the treatment of substance use disorders. In: *Addiction research & theory* 23 (4), S. 266–272. DOI: 10.3109/16066359.2015.1011625.
- Eichhammer, P.; Johann, M.; Kharraz, A.; Binder, H.; Pittrow, D.; Wodarz, N.; Hajak, G. (2003): High-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation decreases cigarette smoking. In: *The journal of clinical psychiatry* 64 (8), S. 951–953. DOI: 10.4088/JCP.v64n0815.
- Enokibara, M.; Trevizol, A.; Shiozawa, P.; Cordeiro, Q. (2016): Establishing an effective TMS protocol for craving in substance addiction: Is it possible? In: *The American journal on addictions* 25, S. 28–30. DOI: 10.1111/ajad.12309.
- Erblich, J.; Bovbjerg, D. H.; Sloan, R. P. (2011): Exposure to smoking cues: Cardiovascular and autonomic effects. In: *Addictive behaviors* 36 (7), S. 737–742. DOI: 10.1016/j.addbeh.2011.02.011.
- Ernst, M.; Bolla, K.; Mouratidis, M.; Contoreggi, C.; Matochik, J. A.; Kurian, V. et al. (2002): Decision-making in a risk-taking task: A PET study. In: *Neuropsychopharmacology: Official publication of the American college of neuropsychopharmacology* 26 (5), S. 682–691. DOI: 10.1016/S0893-133X(01)00414-6.
- Ezquerro, F.; Moffa, A. H.; Bikson, M.; Khadka, N.; Aparicio, L. V. M.; Sampaio-Junior, B. de et al. (2017): The influence of skin redness on blinding in transcranial direct current stimulation studies: A crossover trial. In: *Neuromodulation: Journal of the international neuromodulation society* 20 (3), S. 248–255. DOI: 10.1111/ner.12527.
- Falcone, M.; Bernardo, L.; Ashare, R. L.; Hamilton, R.; Faseyitan, O.; McKee, S. A. et al. (2016): Transcranial direct current brain stimulation increases ability to resist smoking. In: *Brain stimulation* 9 (2), S. 191–196. DOI: 10.1016/j.brs.2015.10.004.
- Fecteau, S.; Agosta, S.; Hone-Blanchet, A.; Fregni, F.; Boggio, P. S.; Ciraulo, D.; Pascual-Leone, A. (2014): Modulation of smoking and decision-making behaviors with transcranial direct current stimulation in tobacco smokers: A preliminary study. In: *Drug and alcohol dependence* 140, S. 78–84. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2014.03.036.
- Fecteau, S.; Fregni, F.; Boggio, P. S.; Camprodon, J. A.; Pascual-Leone, A. (2010): Neuromodulation of decision-making in the addictive brain. In: *Substance use & misuse* 45 (11), S. 1766–1786. DOI: 10.3109/10826084.2010.482434.
- Fecteau, S.; Knoch, D.; Fregni, F.; Sultani, N.; Boggio, P. S.; Pascual-Leone, A. (2007): Diminishing risk-taking behavior by modulating activity in the prefrontal cortex: A direct current stimulation study. In: *The journal of neuroscience: The official journal of the society for neuroscience* 27 (46), S. 12500–12505. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3283-07.2007.

- Fertonani, A.; Ferrari, C.; Miniussi, C. (2015): What do you feel if I apply transcranial electric stimulation? Safety, sensations and secondary induced effects. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 126 (11), S. 2181–2188. DOI: 10.1016/j.clinph.2015.03.015.
- Field, M.; Hogarth, L.; Bleasdale, D.; Wright, P.; Fernie, G.; Christiansen, P. (2011): Alcohol expectancy moderates attentional bias for alcohol cues in light drinkers. In: *Addiction* 106 (6), S. 1097–1103. DOI: 10.1111/j.1360-0443.2011.03412.x.
- Fitzgerald, P. B.; Maller, J. J.; Hoy, K. E.; Thomson, R.; Daskalakis, Z. J. (2009): Exploring the optimal site for the localization of dorsolateral prefrontal cortex in brain stimulation experiments. In: *Brain stimulation* 2 (4), S. 234–237. DOI: 10.1016/j.brs.2009.03.002.
- Fregni, F.; Liguori, P.; Fecteau, S.; Nitsche, M. A.; Pascual-Leone, A.; Boggio, P. S. (2008a): Cortical stimulation of the prefrontal cortex with transcranial direct current stimulation reduces cue-provoked smoking craving: A randomized, sham-controlled study. In: *The journal of clinical psychiatry* 69 (1), S. 32–40.
- Fregni, F.; Orsati, F.; Pedrosa, W.; Fecteau, S.; Tome, F. A. M.; Nitsche, M. A. et al. (2008b): Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates the desire for specific foods. In: *Appetite* 51 (1), S. 34–41. DOI: 10.1016/j.appet.2007.09.016.
- Freud, S. (1991): Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie. Einleitung von Reimut Reiche. 9. Aufl. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag (Fischer-Taschenbücher).
- Friedman, B. H.; Thayer, J. F. (1998): Autonomic balance revisited: Panic anxiety and heart rate variability. In: *Journal of psychosomatic research* 44 (1), S. 133–151. DOI: 10.1016/S0022-3999(97)00202-X.
- Fuster, J. M. (2001): The prefrontal cortex – An update: Time is of the essence. In: *Neuron* 30 (2), S. 319–333. DOI: 10.1016/S0896-6273(01)00285-9.
- Gandiga, P. C.; Hummel, F.; Cohen, L. G. (2006): Transcranial DC stimulation (tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 117 (4), S. 845–850. DOI: 10.1016/j.clinph.2005.12.003.
- Georgiadis, J. R.; Kringelbach, M. L. (2012): The human sexual response cycle: Brain imaging evidence linking sex to other pleasures. In: *Progress in neurobiology* 98 (1), S. 49–81. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2012.05.004.
- Gola, M.; Wordecha, M.; Marchewka, A.; Sescousse, G. (2016): Visual sexual stimuli – Cue or reward? A perspective for interpreting brain imaging findings on human sexual behaviors. In: *Frontiers in human neuroscience* 10 (Article 402). DOI: 10.3389/fnhum.2016.00402.
- Goldey, K. L.; van Anders, S. M. (2012): Sexual arousal and desire: Interrelations and responses to three modalities of sexual stimuli. In: *The journal of sexual medicine* 9 (9), S. 2315–2329. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2012.02845.x.
- Goldman, R. L.; Borckardt, J. J.; Frohman, H. A.; O'Neil, P. M.; Madan, A.; Campbell, L. K. et al. (2011): Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) temporarily reduces food cravings and increases the self-reported ability to resist food in adults with frequent food craving. In: *Appetite* 56 (3), S. 741–746. DOI: 10.1016/j.appet.2011.02.013.

- Grafman, J.; Litvan, I. (1999): Importance of deficits in executive functions. In: *The Lancet* 354 (9194), S. 1921–1923. DOI: 10.1016/S0140-6736(99)90438-5.
- Grant, S.; London, E. D.; Newlin, D. B.; Villemagne, V. L.; Liu, X.; Contoreggi, C. et al. (1996): Activation of memory circuits during cue-elicited cocaine craving. In: *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 93 (21), S. 12040–12045. DOI: 10.1073/pnas.93.21.12040.
- Hayashi, T.; Ko, J. H.; Strafella, A. P.; Dagher, A. (2013): Dorsolateral prefrontal and orbitofrontal cortex interactions during self-control of cigarette craving. In: *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 110 (11), S. 4422–4427. DOI: 10.1073/pnas.1212185110.
- Heekeren, H. R.; Marrett, S.; Ruff, D. A.; Bandettini, P. A.; Ungerleider, L. G. (2006): Involvement of human left dorsolateral prefrontal cortex in perceptual decision making is independent of response modality. In: *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 103 (26), S. 10023–10028. DOI: 10.1073/pnas.0603949103.
- Heiman, J. R.; Rowland, D. L. (1983): Affective and physiological sexual response patterns: The effects of instructions on sexually functional and dysfunctional men. In: *Journal of psychosomatic research* 27 (2), S. 105–116.
- Herremans, S. C.; Baeken, C.; Vanderbruggen, N.; Vanderhasselt, M. A.; Zeeuws, D.; Santermans, L.; Raedt, R. de (2012): No influence of one right-sided prefrontal HF-rTMS session on alcohol craving in recently detoxified alcohol-dependent patients: Results of a naturalistic study. In: *Drug and alcohol dependence* 120 (1-3), S. 209–213. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2011.07.021.
- Hone-Blanchet, A.; Ciraulo, D. A.; Pascual-Leone, A.; Fecteau, S. (2015): Noninvasive brain stimulation to suppress craving in substance use disorders: Review of human evidence and methodological considerations for future work. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 59, S. 184–200. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2015.10.001.
- Höppner, J.; Broese, T.; Wendler, L.; Berger, C.; Thome, J. (2011): Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for treatment of alcohol dependence. In: *The world journal of biological psychiatry: The official journal of the world federation of societies of biological psychiatry* 12 Suppl 1, S. 57–62. DOI: 10.3109/15622975.2011.598383.
- Horvath, J. C.; Carter, O.; Forte, J. D. (2014): Transcranial direct current stimulation: Five important issues we aren't discussing (but probably should be). In: *Frontiers in systems neuroscience* 8 (Article 2). DOI: 10.3389/fnsys.2014.00002.
- Hummel, F.; Celnik, P.; Giraux, P.; Floel, A.; Wu, W.-H.; Gerloff, C.; Cohen, L. G. (2005): Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. In: *Brain: A journal of neurology* 128 (3), S. 490–499. DOI: 10.1093/brain/awh369.
- Ingjaldsson, J. T.; Laberg, J. C.; Thayer, J. F. (2003a): Reduced heart rate variability in chronic alcohol abuse: Relationship with negative mood, chronic thought suppression, and compulsive drinking. In: *Biological psychiatry* 54 (12), S. 1427–1436. DOI: 10.1016/S0006-3223(02)01926-1.
- Ingjaldsson, J. T.; Thayer, J. F.; Laberg, J. C. (2003b): Craving for alcohol and pre-attentive processing of alcohol stimuli. In: *International journal of psychophysiology: Official journal*

of the international organization of psychophysiology 49 (1), S. 29–39. DOI: 10.1016/S0167-8760(03)00075-8.

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. In: *Neurology* 64 (5), S. 872–875. DOI: 10.1212/01.WNL.0000152986.07469.E9.

Jansen, J. M.; Daams, J. G.; Koeter, M. W. J.; Veltman, D. J.; van den Brink, W.; Goudriaan, A. E. (2013): Effects of non-invasive neurostimulation on craving: A meta-analysis. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 37 (10 Pt 2), S. 2472–2480. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2013.07.009.

Jansma, A.; Breteler, M. H. M.; Schippers, G. M.; de Jong, C. A. J.; van der Staak, C. P. F. (2000): No effect of negative mood on the alcohol cue reactivity of in-patient alcoholics. In: *Addictive behaviors* 25 (4), S. 619–624. DOI: 10.1016/S0306-4603(99)00037-4.

Jasper, H. H. (1958): Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography. In: *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 10 (2), S. 370–375. DOI: 10.1016/0013-4694(58)90053-1.

Jauch-Chara, K.; Kistenmacher, A.; Herzog, N.; Schwarz, M.; Schweiger, U.; Oltmanns, K. M. (2014): Repetitive electric brain stimulation reduces food intake in humans. In: *The American journal of clinical nutrition* 100 (4), S. 1003–1009. DOI: 10.3945/ajcn.113.075481.

Johnsen, B. H.; Laberg, J. C.; Cox, W. M.; Vaksdal, A.; Hugdahl, K. (1994): Alcoholic subjects' attentional bias in the processing of alcohol-related words. In: *Psychology of addictive behaviors* 8 (2), S. 111–115. DOI: 10.1037/0893-164X.8.2.111.

Johnsen, B. H.; Thayer, J. F.; Laberg, J. C.; Wormnes, B.; Raadal, M.; Skaret, E. et al. (2003): Attentional and physiological characteristics of patients with dental anxiety. In: *Journal of anxiety disorders* 17 (1), S. 75–87. DOI: 10.1016/S0887-6185(02)00178-0.

Jones, J. C.; Barlow, D. H. (1990): Self-reported frequency of sexual urges, fantasies, and masturbatory fantasies in heterosexual males and females. In: *Archives of sexual behavior* 19 (3), S. 269–279. DOI: 10.1007/BF01541552.

Kekic, M.; McClelland, J.; Campbell, I.; Nestler, S.; Rubia, K.; David, A. S.; Schmidt, U. (2014): The effects of prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS) on food craving and temporal discounting in women with frequent food cravings. In: *Appetite* 78, S. 55–62. DOI: 10.1016/j.appet.2014.03.010.

Kemp, J.; Després, O.; Pebayle, T.; Dufour, A. (2014): Age-related decrease in sensitivity to electrical stimulation is unrelated to skin conductance: An evoked potentials study. In: *Clinical Neurophysiology* 125 (3), S. 602–607. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.08.020.

Kessler, S. K.; Turkeltaub, P. E.; Benson, J. G.; Hamilton, R. H. (2012): Differences in the experience of active and sham transcranial direct current stimulation. In: *Brain stimulation* 5 (2), S. 155–162. DOI: 10.1016/j.brs.2011.02.007.

Khedr, E. M.; Elfetoh, N. A.; Ali, A. M.; Noamany, M. (2014): Anodal transcranial direct current stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex improves anorexia nervosa: A pilot study. In: *Restorative neurology and neuroscience* 32 (6), S. 789–797. DOI: 10.3233/RNN-140392.

- Knoch, D.; Fehr, E. (2007): Resisting the power of temptations: The right prefrontal cortex and self-control. In: *Annals of the New York academy of sciences* 1104, S. 123–134. DOI: 10.1196/annals.1390.004.
- Knoch, D.; Gianotti, L. R. R.; Pascual-Leone, A.; Treyer, V.; Regard, M.; Hohmann, M.; Brugger, P. (2006): Disruption of right prefrontal cortex by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation induces risk-taking behavior. In: *The journal of neuroscience: The official journal of the society for neuroscience* 26 (24), S. 6469–6472. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0804-06.2006.
- Knoch, D.; Nitsche, M. A.; Fischbacher, U.; Eisenegger, C.; Pascual-Leone, A.; Fehr, E. (2008): Studying the neurobiology of social interaction with transcranial direct current stimulation – The example of punishing unfairness. In: *Cerebral cortex* 18 (9), S. 1987–1990. DOI: 10.1093/cercor/bhm237.
- Kringelbach, M. L.; Stein, A.; van Hartevelt, T. J. (2012): The functional human neuroanatomy of food pleasure cycles. In: *Physiology & behavior* 106 (3), S. 307–316. DOI: 10.1016/j.physbeh.2012.03.023.
- Kroczek, A. M.; Haussinger, F. B.; Rohe, T.; Schneider, S.; Plewnia, C.; Batra, A. et al. (2016): Effects of transcranial direct current stimulation on craving, heart-rate variability and prefrontal hemodynamics during smoking cue exposure. In: *Drug and alcohol dependence* 168, S. 123–127. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2016.09.006.
- Kuhn, W.; Koenig, J.; Donoghue, A.; Hillecke, T. K.; Warth, M. (2014): Psychometrische Eigenschaften einer deutschsprachigen Kurzversion des Sexual Desire Inventory (SDI-2). In: *Zeitschrift für Sexualforschung* 27 (2), S. 138–149. DOI: 10.1055/s-0034-1366582.
- Lam, C. B.; Chan, D. K.-S. (2007): The use of cyberpornography by young men in Hong Kong: Some psychosocial correlates. In: *Archives of sexual behavior* 36 (4), S. 588–598. DOI: 10.1007/s10508-006-9124-5.
- Lapenta, O. M.; Di Sierve, K.; de Macedo, E. C.; Fregni, F.; Boggio, P. S. (2014): Transcranial direct current stimulation modulates ERP-indexed inhibitory control and reduces food consumption. In: *Appetite* 83, S. 42–48. DOI: 10.1016/j.appet.2014.08.005.
- Laws, D. R. (2009): Penile plethysmography: Strengths, limitations, innovations. In: D. Thornton und D. R. Laws (Hg.): *Cognitive approaches to the assessment of sexual interest in sexual offenders*. Chichester, West Sussex, UK, Malden, MA: Wiley-Blackwell (Wiley series in forensic clinical psychology), S. 7–29.
- Lefaucheur, J.-P.; Andre-Obadia, N.; Antal, A.; Ayache, S. S.; Baeken, C.; Benninger, D. H. et al. (2014): Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 125 (11), S. 2150–2206. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.05.021.
- Leon-Carrion, J.; Martín-Rodríguez, J. F.; Damas-López, J.; Pourrezai, K.; Izzetoglu, K.; Barroso y Martin, J. M.; Dominguez-Morales, M. R. (2007): Does dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) activation return to baseline when sexual stimuli cease? The role of DLPFC in visual sexual stimulation. In: *Neuroscience letters* 416 (1), S. 55–60. DOI: 10.1016/j.neulet.2007.01.058.

- Levine, S. B. (1987): More on the nature of sexual desire. In: *Journal of sex & marital therapy* 13 (1), S. 35–44. DOI: 10.1080/00926238708403877.
- Li, X.; Hartwell, K. J.; Owens, M.; Lematty, T.; Borckardt, J. J.; Hanlon, C. A. et al. (2013): Repetitive transcranial magnetic stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex reduces nicotine cue craving. In: *Biological psychiatry* 73 (8), S. 714–720. DOI: 10.1016/j.biopsych.2013.01.003.
- Liu, Q.; Shen, Y.; Cao, X.; Li, Y.; Chen, Y.; Yang, W.; Yuan, T.-F. (2017): Either at left or right, both high and low frequency rTMS of dorsolateral prefrontal cortex decreases cue induced craving for methamphetamine. In: *The American journal on addictions* 26 (8), S. 776–779. DOI: 10.1111/ajad.12638.
- Loftus, A. M.; Yalcin, O.; Baughman, F. D.; Vanman, E. J.; Hagger, M. S. (2015): The impact of transcranial direct current stimulation on inhibitory control in young adults. In: *Brain and behavior* 5 (5), e00332. DOI: 10.1002/brb3.332.
- Lorenz, T. A.; Harte, C. B.; Hamilton, L. D.; Meston, C. (2012): Evidence for a curvilinear relationship between sympathetic nervous system activation and women's physiological sexual arousal. In: *Psychophysiology* 49 (1), S. 111–117. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2011.01285.x.
- Lyvers, M. (2000): "Loss of control" in alcoholism and drug addiction: A neuroscientific interpretation. In: *Experimental and clinical psychopharmacology* 8 (2), S. 225–249. DOI: 10.1037/1064-1297.8.2.225.
- Maas, L. C.; Lukas, S. E.; Kaufman, M. J.; Weiss, R. D.; Daniels, S. L.; Rogers, V. W. et al. (1998): Functional magnetic resonance imaging of human brain activation during cue-induced cocaine craving. In: *The American journal of psychiatry* 155 (1), S. 124–126. DOI: 10.1176/ajp.155.1.124.
- Malenka, R. C.; Nicoll, R. A. (1999): Long-term potentiation – A decade of progress? In: *Science* 285 (5435), S. 1870–1874. DOI: 10.1126/science.285.5435.1870.
- Malliani, A.; Pagani, M.; Lombardi, F.; Cerutti, S. (1991): Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. In: *Circulation* 84 (2), S. 482–492. DOI: 10.1161/01.CIR.84.2.482.
- Marangolo, P.; Fiori, V.; Di Paola, M.; Cipollari, S.; Razzano, C.; Oliveri, M.; Caltagirone, C. (2013): Differential involvement of the left frontal and temporal regions in verb naming: A tDCS treatment study. In: *Restorative neurology and neuroscience* 31 (1), S. 63–72. DOI: 10.3233/RNN-120268.
- Martinsen, Ø. G.; Grimnes, S.; Piltan, H. (2004): Cutaneous perception of electrical direct current. In: *ITBM-RBM* 25 (4), S. 240–243. DOI: 10.1016/j.rbmret.2004.09.012.
- McBride, D.; Barrett, S. P.; Kelly, J. T.; Aw, A.; Dagher, A. (2006): Effects of expectancy and abstinence on the neural response to smoking cues in cigarette smokers: An fMRI study. In: *Neuropsychopharmacology: Official publication of the American college of neuropsychopharmacology* 31 (12), S. 2728–2738. DOI: 10.1038/sj.npp.1301075;
- McFadden, J. L.; Borckardt, J. J.; George, M. S.; Beam, W. (2011): Reducing procedural pain and discomfort associated with transcranial direct current stimulation. In: *Brain stimulation* 4 (1), S. 38–42. DOI: 10.1016/j.brs.2010.05.002.

- Meinzer, M.; Darkow, R.; Lindenberg, R.; Floel, A. (2016): Electrical stimulation of the motor cortex enhances treatment outcome in post-stroke aphasia. In: *Brain: A journal of neurology* 139 (4), S. 1152–1163. DOI: 10.1093/brain/aww002.
- Meule, A.; Freund, R.; Skirde, A. K.; Vogele, C.; Kubler, A. (2012): Heart rate variability biofeedback reduces food cravings in high food cravers. In: *Applied psychophysiology and biofeedback* 37 (4), S. 241–251. DOI: 10.1007/s10484-012-9197-y.
- Miranda Jr., R.; Rohsenow, D. J.; Monti, P.; Tidey, J.; Ray, L. (2008): Effects of repeated days of smoking cue exposure on urge to smoke and physiological reactivity. In: *Addictive behaviors* 33 (2), S. 347–353. DOI: 10.1016/j.addbeh.2007.09.011.
- Mishra, B. R.; Nizamie, S. H.; Das, B.; Praharaaj, S. K. (2010): Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation in alcohol dependence. A sham-controlled study. In: *Addiction* 105 (1), S. 49–55. DOI: 10.1111/j.1360-0443.2009.02777.x.
- Moliadze, V.; Antal, A.; Paulus, W. (2010): Electrode-distance dependent after-effects of transcranial direct and random noise stimulation with extracephalic reference electrodes. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 121 (12), S. 2165–2171. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.04.033.
- Montenegro, R. A.; Okano, A. H.; Cunha, F. A.; Gurgel, J. L.; Fontes, E. B.; Farinatti, P. T. V. (2012): Prefrontal cortex transcranial direct current stimulation associated with aerobic exercise change aspects of appetite sensation in overweight adults. In: *Appetite* 58 (1), S. 333–338. DOI: 10.1016/j.appet.2011.11.008.
- Motofei, I. G.; Rowland, D. L. (2005): The physiological basis of human sexual arousal: Neuroendocrine sexual asymmetry. In: *International journal of andrology* 28 (2), S. 78–87. DOI: 10.1111/j.1365-2605.2004.00514.x.
- Nahas, Z.; Teneback, C. C.; Kozel, A.; Speer, A. M.; DeBrux, C.; Molloy, M. et al. (2001): Brain effects of TMS delivered over prefrontal cortex in depressed adults: Role of stimulation frequency and coil-cortex distance. In: *The journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences* 13 (4), S. 459–470. DOI: 10.1176/jnp.13.4.459.
- Nakamura-Palacios, E. M.; Almeida Benevides, M. C. de; da Penha Zago-Gomes, M.; Oliveira, R. W. D. de; Vasconcellos, V. F. de; Castro, L. N. P. de et al. (2012): Auditory event-related potentials (P3) and cognitive changes induced by frontal direct current stimulation in alcoholics according to Lesch alcoholism typology. In: *The international journal of neuropsychopharmacology* 15 (5), S. 601–616. DOI: 10.1017/S1461145711001040.
- Nederkoorn, C.; Smulders, F. T. Y.; Jansen, A. (2000): Cephalic phase responses, craving and food intake in normal subjects. In: *Appetite* 35 (1), S. 45–55. DOI: 10.1006/appe.2000.0328.
- Niaura, R.; Abrams, D.; Demuth, B.; Pinto, R.; Monti, P. (1989): Responses to smoking-related stimuli and early relapse to smoking. In: *Addictive behaviors* 14 (4), S. 419–428. DOI: 10.1016/0306-4603(89)90029-4.
- Nitsche, M. A.; Boggio, P. S.; Fregni, F.; Pascual-Leone, A. (2009): Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): A review. In: *Experimental neurology* 219 (1), S. 14–19. DOI: 10.1016/j.expneurol.2009.03.038.

- Nitsche, M. A.; Cohen, L. G.; Wassermann, E. M.; Priori, A.; Lang, N.; Antal, A. et al. (2008): Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. In: *Brain stimulation* 1 (3), S. 206–223. DOI: 10.1016/j.brs.2008.06.004.
- Nitsche, M. A.; Doemkes, S.; Karakose, T.; Antal, A.; Liebetanz, D.; Lang, N. et al. (2007): Shaping the effects of transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. In: *Journal of neurophysiology* 97 (4), S. 3109–3117. DOI: 10.1152/jn.01312.2006.
- Nitsche, M. A.; Liebetanz, D.; Lang, N.; Antal, A.; Tergau, F.; Paulus, W. (2003): Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 114 (11), S. 2220–2222. DOI: 10.1016/S1388-2457(03)00235-9.
- Nitsche, M. A.; Paulus, W. (2000): Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. In: *The journal of physiology* 527 (3), S. 633–639. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x.
- Nitsche, M. A.; Paulus, W. (2001): Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. In: *Neurology* 57 (10), S. 1899–1901. DOI: 10.1212/WNL.57.10.1899.
- O'Connell, N. E.; Cossar, J.; Marston, L.; Wand, B. M.; Bunce, D.; Moseley, G. L.; Souza, L. H. de (2012): Rethinking clinical trials of transcranial direct current stimulation: Participant and assessor blinding is inadequate at intensities of 2mA. In: *PLOS ONE* 7 (10), e47514. DOI: 10.1371/journal.pone.0047514.
- Okamoto, M.; Dan, H.; Sakamoto, K.; Takeo, K.; Shimizu, K.; Kohno, S. et al. (2004): Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. In: *NeuroImage* 21 (1), S. 99–111. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.026.
- Oldfield, R. C. (1971): The assessment and analysis of handedness. The Edinburgh inventory. In: *Neuropsychologia* 9 (1), S. 97–113. DOI: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
- Palm, U.; Reisinger, E.; Keeser, D.; Kuo, M.-F.; Pogarell, O.; Leicht, G. et al. (2013): Evaluation of sham transcranial direct current stimulation for randomized, placebo-controlled clinical trials. In: *Brain stimulation* 6 (4), S. 690–695. DOI: 10.1016/j.brs.2013.01.005.
- Parazzini, M.; Fiocchi, S.; Rossi, E.; Paglialonga, A.; Ravazzani, P. (2011): Transcranial direct current stimulation: Estimation of the electric field and of the current density in an anatomical human head model. In: *IEEE transactions on bio-medical engineering* 58 (6), S. 1773–1780. DOI: 10.1109/TBME.2011.2116019.
- Pascual-Leone, A.; Valls-Sole, J.; Wassermann, E. M.; Hallett, M. (1994): Responses to rapid-rate transcranial magnetic stimulation of the human motor cortex. In: *Brain: A journal of neurology* 117 (4), S. 847–858. DOI: 10.1093/brain/117.4.847.
- Poeppel, T. B.; Langguth, B.; Laird, A. R.; Eickhoff, S. B. (2014): The functional neuroanatomy of male psychosexual and physiosexual arousal: A quantitative meta-analysis. In: *Human brain mapping* 35 (4), S. 1404–1421. DOI: 10.1002/hbm.22262.
- Politi, E.; Fauci, E.; Santoro, A.; Smeraldi, E. (2008): Daily sessions of transcranial magnetic stimulation to the left prefrontal cortex gradually reduce cocaine craving. In: *The American journal on addictions* 17 (4), S. 345–346. DOI: 10.1080/10550490802139283.



- Pomeranz, B.; Macaulay, R. J. B.; Caudill, M. A.; Kutz, I.; Adam, D.; Gordon, D. et al. (1985): Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. In: *The American journal of physiology* 248 (1 Pt 2), H151-H153.
- Poreisz, C.; Boros, K.; Antal, A.; Paulus, W. (2007): Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. In: *Brain research bulletin* 72 (4–6), S. 208–214. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2007.01.004.
- Porges, S. W. (1991): Vagal tone: An autonomic mediator of affect. In: J. Garber, K. A. Dodge, C. U. Shantz, R. N. Emde, W. W. Hartup, L. W. Hoffman et al. (Hg.): *The development of emotion regulation and dysregulation*. Cambridge, GBR: Cambridge University Press (Cambridge Studies in Social and Emotional Development), S. 111–128.
- Pripfl, J.; Neumann, R.; Kohler, U.; Lamm, C. (2013): Effects of transcranial direct current stimulation on risky decision making are mediated by 'hot' and 'cold' decisions, personality, and hemisphere. In: *The European journal of neuroscience* 38 (12), S. 3778–3785. DOI: 10.1111/ejn.12375.
- Pripfl, J.; Tomova, L.; Rieckensky, I.; Lamm, C. (2014): Transcranial magnetic stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex decreases cue-induced nicotine craving and EEG delta power. In: *Brain stimulation* 7 (2), S. 226–233. DOI: 10.1016/j.brs.2013.11.003.
- Purpura, D. P.; McMurtry, J. G. (1965): Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex. In: *Journal of neurophysiology* 28, S. 166–185.
- Rajan, I.; Naga Venkatesha Murthy, P. J.; Ramakrishnan, A. G.; Gangadhar, B. N.; Janakiramaiah, N. (1998): Heart rate variability as an index of cue reactivity in alcoholics. In: *Biological psychiatry* 43 (7), S. 544–546. DOI: 10.1016/S0006-3223(97)00399-5.
- Rajendra Acharya, U.; Paul Joseph, K.; Kannathal, N.; Lim, C. M.; Suri, J. S. (2006): Heart rate variability: A review. In: *Medical & biological engineering & computing* 44 (12), S. 1031–1051. DOI: 10.1007/s11517-006-0119-0.
- Rampin, O.; Giuliano, F. (2000): Central control of the cardiovascular and erection systems: Possible mechanisms and interactions. In: *The American journal of cardiology* 86 (2A), 19F–22F. DOI: 10.1016/S0002-9149(00)00886-9.
- Romero, J. R.; Ansel, D.; Sparing, R.; Gangitano, M.; Pascual-Leone, A. (2002): Subthreshold low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation selectively decreases facilitation in the motor cortex. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 113 (1), S. 101–107. DOI: 10.1016/S1388-2457(01)00693-9.
- Rush, S.; Driscoll, D. A. (1968): Current distribution in the brain from surface electrodes. In: *Anesthesia and analgesia* 47 (6), S. 717–723.
- Russo, R.; Wallace, D.; Fitzgerald, P. B.; Cooper, N. R. (2013): Perception of comfort during active and sham transcranial direct current stimulation: A double blind study. In: *Brain stimulation* 6 (6), S. 946–951. DOI: 10.1016/j.brs.2013.05.009.
- Rutter, M.; Giller, H.; Hagell, A. (1998): *Antisocial behavior by young people*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Salvador, R.; Wenger, C.; Miranda, P. C. (2015): Investigating the cortical regions involved in MEP modulation in tDCS. In: *Frontiers in cellular neuroscience* 9 (Article 405). DOI: 10.3389/fncel.2015.00405.
- Sandrini, M.; Rossini, P. M.; Miniussi, C. (2008): Lateralized contribution of prefrontal cortex in controlling task-irrelevant information during verbal and spatial working memory tasks: rTMS evidence. In: *Neuropsychologia* 46 (7), S. 2056–2063. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.003.
- Sauvaget, A.; Trojak, B.; Bulteau, S.; Jiménez-Murcia, S.; Fernández-Aranda, F.; Wolz, I. et al. (2015): Transcranial direct current stimulation (tDCS) in behavioral and food addiction: A systematic review of efficacy, technical, and methodological issues. In: *Frontiers in neuroscience* 9 (Article 349). DOI: 10.3389/fnins.2015.00349.
- Sell, R. L. (1996): The Sell assessment of sexual orientation: Background and scoring. In: *Journal of gay, lesbian, & bisexual identity* 1 (4), S. 295–310.
- Shamay-Tsoory, S. G.; Tomer, R.; Berger, B. D.; Aharon-Peretz, J. (2003): Characterization of empathy deficits following prefrontal brain damage: The role of the right ventromedial prefrontal cortex. In: *Journal of cognitive neuroscience* 15 (3), S. 324–337. DOI: 10.1162/089892903321593063.
- Spector, I. P.; Carey, M. P.; Steinberg, L. (1996): The sexual desire inventory: Development, factor structure, and evidence of reliability. In: *Journal of sex & marital therapy* 22 (3), S. 175–190. DOI: 10.1080/00926239608414655.
- Stanton, A. M.; Lorenz, T. A.; Pulverman, C. S.; Meston, C. (2015): Heart rate variability: A risk factor for female sexual dysfunction. In: *Applied psychophysiology and biofeedback* 40 (3), S. 229–237. DOI: 10.1007/s10484-015-9286-9.
- Stetter, F.; Chaluppa, C.; Ackerman, K.; Straube, E. R.; Mann, K. (1994): Alcoholics' selective processing of alcohol related words and cognitive performance on a Stroop task. In: *European psychiatry* 9 (2), S. 71–76.
- Stormark, K. M.; Laberg, J. C.; Nordby, H.; Hugdahl, K. (2000): Alcoholics' selective attention to alcohol stimuli: Automated processing? In: *Journal of studies on alcohol* 61 (1), S. 18–23. DOI: 10.15288/jsa.2000.61.18.
- Stuss, D. T.; Gallup Jr., G. G.; Alexander, M. P. (2001): The frontal lobes are necessary for 'theory of mind'. In: *Brain: A journal of neurology* 124 (2), S. 279–286. DOI: 10.1093/brain/124.2.279.
- Svedin, C. G.; Akerman, I.; Priebe, G. (2011): Frequent users of pornography. A population based epidemiological study of Swedish male adolescents. In: *Journal of adolescence* 34 (4), S. 779–788. DOI: 10.1016/j.adolescence.2010.04.010.
- Tarvainen, M. P.; Niskanen, J.-P.; Lipponen, J. A.; Ranta-Aho, P. O.; Karjalainen, P. A. (2014): Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. In: *Computer methods and programs in biomedicine* 113 (1), S. 210–220. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.07.024.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996): Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. In: *European heart journal* 17 (3), S. 354–381. DOI: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868.

- Taylor, J. A.; Carr, D. L.; Myers, C. W.; Eckberg, D. L. (1998): Mechanisms underlying very-low-frequency RR-interval oscillations in humans. In: *Circulation* 98 (6), S. 547–555.
- Thayer, J. F.; Brosschot, J. F. (2005): Psychosomatics and psychopathology: Looking up and down from the brain. In: *Psychoneuroendocrinology* 30 (10), S. 1050–1058. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2005.04.014.
- Thayer, J. F.; Lane, R. D. (2000): A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. In: *Journal of affective disorders* 61 (3), S. 201–216. DOI: 10.1016/S0165-0327(00)00338-4.
- Thayer, J. F.; Lane, R. D. (2009): Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. In: *Neuroscience and biobehavioral reviews* 33 (2), S. 81–88. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.004.
- Tiffany, S. T. (1990): A cognitive model of drug urges and drug-use behavior: Role of automatic and nonautomatic processes. In: *Psychological review* 97 (2), S. 147–168. DOI: 10.1037/0033-295X.97.2.147.
- Tiffany, S. T.; Drobes, D. J. (1990): Imagery and smoking urges: The manipulation of affective content. In: *Addictive behaviors* 15 (6), S. 531–539. DOI: 10.1016/0306-4603(90)90053-Z.
- Tong, C.; Bovbjerg, D. H.; Erblich, J. (2007): Smoking-related videos for use in cue-induced craving paradigms. In: *Addictive behaviors* 32 (12), S. 3034–3044. DOI: 10.1016/j.addbeh.2007.07.010.
- Uher, R.; Yoganathan, D.; Mogg, A.; Eranti, S. V.; Treasure, J.; Campbell, I. et al. (2005): Effect of left prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation on food craving. In: *Biological psychiatry* 58 (10), S. 840–842. DOI: 10.1016/j.biopsych.2005.05.043.
- Vaage-Nilsen, M.; Rasmussen, V.; Jensen, G.; Simonsen, L.; Mortensen, L. S. (2001): Recovery of autonomic nervous activity after myocardial infarction demonstrated by short-term measurements of SDNN. In: *Scandinavian cardiovascular journal: SCJ* 35 (3), S. 186–191. DOI: 10.1080/140174301750305063.
- van Anders, S. M.; Brotto, L.; Farrell, J.; Yule, M. (2009): Associations among physiological and subjective sexual response, sexual desire, and salivary steroid hormones in healthy premenopausal women. In: *The journal of sexual medicine* 6 (3), S. 739–751. DOI: 10.1111/j.1743-6109.2008.01123.x.
- Vandermeeren, Y.; Jamart, J.; Osseman, M. (2010): Effect of tDCS with an extracephalic reference electrode on cardio-respiratory and autonomic functions. In: *BMC Neuroscience* 11 (1), S. 38. DOI: 10.1186/1471-2202-11-38.
- Verheul, R.; van den Brink, W.; Geerlings, P. (1999): A three-pathway psychobiological model of craving for alcohol. In: *Alcohol and alcoholism* 34 (2), S. 197–222. DOI: 10.1093/alcalc/34.2.197.
- Volkow, N. D.; Hitzemann, R.; Wang, G.-J.; Fowler, J. S.; Wolf, A. P.; Dewey, S. L.; Handlesman, L. (1992): Long-term frontal brain metabolic changes in cocaine abusers. In: *Synapse* 11 (3), S. 184–190. DOI: 10.1002/syn.890110303.
- Wallace, D.; Cooper, N. R.; Paulmann, S.; Fitzgerald, P. B.; Russo, R. (2016): Perceived comfort and blinding efficacy in randomised sham-controlled transcranial direct current

- stimulation (tdcs) trials at 2 mA in young and older healthy adults. In: *PLOS ONE* 11 (2), e0149703. DOI: 10.1371/journal.pone.0149703.
- Wallmyr, G.; Welin, C. (2006): Young people, pornography, and sexuality: Sources and attitudes. In: *The journal of school nursing: The official publication of the national association of school nurses* 22 (5), S. 290–295. DOI: 10.1177/10598405060220050801.
- Wang, G.-J.; Volkow, N. D.; Thanos, P. K.; Fowler, J. S. (2004): Similarity between obesity and drug addiction as assessed by neurofunctional imaging: A concept review. In: *Journal of addictive diseases* 23 (3), S. 39–53. DOI: 10.1300/J069v23n03\_04.
- Weise, F.; Krell, D.; Brinkhoff, N. (1986): Acute alcohol ingestion reduces heart rate variability. In: *Drug and alcohol dependence* 17 (1), S. 89–91. DOI: 10.1016/0376-8716(86)90040-2.
- Wilson, G. T.; Abrams, D. (1977): Effects of alcohol on social anxiety and physiological arousal: Cognitive versus pharmacological processes. In: *Cognitive therapy and research* 1 (3), S. 195–210. DOI: 10.1007/BF01186793.
- Winkler, T.; Hering, P.; Straube, A. (2010): Spinal DC stimulation in humans modulates post-activation depression of the H-reflex depending on current polarity. In: *Clinical neurophysiology: Official journal of the international federation of clinical neurophysiology* 121 (6), S. 957–961. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.01.014.
- Xhyheri, B.; Manfrini, O.; Mazzolini, M.; Pizzi, C.; Bugiardini, R. (2012): Heart rate variability today. In: *Progress in cardiovascular diseases* 55 (3), S. 321–331. DOI: 10.1016/j.pcad.2012.09.001.
- Zucker, T. L.; Samuelson, K. W.; Muench, F.; Greenberg, M. A.; Gevirtz, R. N. (2009): The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study. In: *Applied psychophysiology and biofeedback* 34 (2), S. 135–143. DOI: 10.1007/s10484-009-9085-2.

## **8 Danksagung**

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Berthold Langguth für die freundliche Bereitstellung des Themas, sowie bei Herrn PD Dr. Martin Schecklmann und Herrn Dr. Timm Pöppl für die hervorragende Betreuung bedanken. Den kollegialen Umgang und die stete Erreichbarkeit habe ich zutiefst geschätzt. Sie haben es geschafft, mich zu motivieren und mein Vorankommen zu fördern. Außerdem möchte ich mich bei Herrn PD Dr. Schecklmann ausdrücklich für die Hilfe bei den statistischen Auswertungen und bei Herrn Dr. Timm Pöppl und seinen Kollegen für die medizinische Aufklärung der Probanden bedanken. Die Arbeit an dem Thema hat mir große Freude bereitet.

Auch meiner Familie möchte ich herzlich für ihren Beistand und ihr Einfühlungsvermögen während der Zeit des Schreibens danken.