

Aus der
Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung Innere Medizin IV
(Schwerpunkt: Diabetologie, Endokrinologie & Nephrologie)

**Der Einfluss von schmackhaftem Essen
auf hemmende Kontrollnetzwerke
bei Patienten mit einer Binge-Eating-Esstörung
– eine Nahinfrarotspektroskopiestudie**

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

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

vorgelegt von

Schopf, Eric

2023

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Preißl

2. Berichterstatter: Privatdozentin Dr. I. Mack

Tag der Disputation: 02.11.2023

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis	i
II.	Abbildungsverzeichnis	iii
III.	Tabellenverzeichnis	iv
IV.	Abkürzungsverzeichnis	v
1	Einleitung.....	1
1.1	Patienten mit einer Binge-Eating-Störung	1
1.2	Grundlagen der Binge-Eating-Störung.....	2
1.3	Impulsivität als ein Persönlichkeitsmerkmal	3
1.4	Inhibitorisches Verhalten während einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe.....	5
1.5	Inhibitorische Kontrollnetzwerke – neuronale Grundlagen.....	6
1.6	Was ist Nahinfrarotspektroskopie?	9
1.7	Hypothesen	12
2	Material und Methoden	13
2.1	Probanden und Studiendesign	13
2.2	Studienprotokoll	15
2.2.1	Vorbereitung.....	15
2.2.2	Ablauf eines Messtages.....	17
2.3	fNIRS-Aufzeichnung	24
2.3.1	Anordnung der Gerätschaften	24
2.3.2	Visualisierung der Signale mittels Oxysoft	26
2.4	„Go“-/„No-Go“-Aufgabe.....	30
2.5	Datenauswertung.....	33
2.5.1	Vorverarbeitung der fNIRS-Daten	33
2.5.2	Eventbezogene Weiterverarbeitung der fNIRS-Daten.....	35
2.6	Statistische Auswertung	36

Inhaltsverzeichnis

3	Ergebnisse	38
3.1	Probandencharakteristika	38
3.2	Verhaltensdaten aus der „Go“-/“No-Go“-Aufgabe	40
3.3	fNIRS-Daten – Effekte und Interaktionen.....	45
3.4	Kontrastanalysen „No-Go“ minus „Go“	48
3.5	Korrelationen zwischen Verhaltensdaten, Probandencharakteristika und fNIRS-Kontrasten.....	52
4	Diskussion	55
4.1	Verhaltensdaten.....	55
4.2	fNIRS-Daten – Aktivierung über den dorsolateralen Präfrontalkortices	57
4.3	Herabgesetzte präfrontale kortikale Aktivität bei Patienten mit einer Binge-Eating-Störung	58
4.4	Lateralisierung der dorsolateralen Präfrontalkortices	59
4.5	Subjektive vs. objektive Impulsivität.....	60
5	Zusammenfassung	61
6	Anhang	63
7	Literaturverzeichnis	67
8	Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	75

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bilder der 80 verwendeten Nahrungsmitteln.....	18
Abbildung 2 Darstellung der Messpunkte am Kopf nach Jasper (1958)	21
Abbildung 3 Betrachtung des Kopfes von oben mit aufliegenden L-förmigen Optodenhaltern	22
Abbildung 4 Position des Probanden vor dem Computermonitor	23
Abbildung 5 fNIRS-Geräte	24
Abbildung 6 Betrachtung des Kopfes von oben mit aufliegenden L-förmigen Optodenhaltern	25
Abbildung 7 Maske in der Software Oxysoft v.3.0 der Fa. Artinis	26
Abbildung 8 Maske in Oxysoft v.3.0 der Fa. Artinis	27
Abbildung 9 Maske in Oxysoft v.3.0, Anzeige aller 20 Kanäle in der Übersicht	28
Abbildung 10 Darstellung eines Kanals in Oxysoft v.3.0	28
Abbildung 11 Darstellung einer kompletten Messsequenz in Oxysoft v.3.0	29
Abbildung 12 Beispielhafter Ablauf der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe	31
Abbildung 13 Darstellung eines Kanals in einem separaten Fenster in Matlab, v.14b	34
Abbildung 14 Korrelation zwischen Reaktionszeit bei der Bedingung „Gesund“ und Alter der Probanden	43
Abbildung 15 Effekt von „No-Go“ versus „Go“ bei Bedingung „Gesund“	47
Abbildung 16 Graphische Darstellung der inhibitorischen Kontrolle	50
Abbildung 17 Darstellung des Kontrasts No-Go minus Go im Kanal 19 für beide Bedingungen und beide Gruppen.....	51
Abbildung 18 Negative Korrelation zwischen der Aktivierung im Kanal 18 für die Bedingung „Gesund“ und Alter der Probanden.....	52
Abbildung 19 Positive Korrelation zwischen der Aktivierung in den Kanälen 5, 9, 19 für die Bedingung „Gesund“ und Reaktionszeiten der Probanden aus der Gruppe der BES	53
Abbildung 20 Negative Korrelation zwischen der Aktivierung im Kanal 5 für die Bedingung „Ungesund“ und der Gesamtsumme aus den BIS-15-Fragebögen der Probanden aus der Gruppe der BES.....	54

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Merkmale der Probanden	14
Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien der Nahinfrarotspektroskopiestudie	14
Tabelle 3 Probandencharakteristika:	38
Tabelle 4 Ein Vergleich von Verhaltensdaten zwischen den Gruppen gesunde Kontrollprobanden und BES bei Betrachtung der zwei Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“	40
Tabelle 5 Ein Vergleich von Verhaltensdaten zwischen den Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“ bei Betrachtung der zwei Gruppen Kontrollprobanden und BES	41
Tabelle 6 Korrelation von Probandencharakteristika beider Gruppen (Alter, BMI) mit Verhaltensdaten wie Reaktionszeit, Auftretensfehler und Auslassungsfehler.	42
Tabelle 7 Korrelation von Probandencharakteristika bei Patienten mit einer BES (BIS-15-Summe Total) mit Verhaltensdaten wie Reaktionszeit, Auftretensfehler und Auslassungsfehler.	44
Tabelle 8 Haupteffekte und Interaktionen aller Kanäle, die den DLPFC repräsentieren.	45
Tabelle 9 Post-hoc-t-Tests	46
Tabelle 10 Kontrastanalyse – Vergleich zwischen den Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“	48
Tabelle 11 Kontrastanalyse–Vergleich zwischen den Gruppen der Kontrollprobanden und der BES.	49
Tabelle 12 Gerätschaften	63
Tabelle 13 Verwendete Software	64
Tabelle 14 Korrelation zwischen Aktivierung und Reaktionszeiten für die Bedingung „Gesund“	65
Tabelle 15 Korrelation zwischen Aktivierung und Gesamtsumme im BIS-15 für die Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“	66

IV. Abkürzungsverzeichnis

BAS	Behavioral Approach System
BDI	Becks Depression Inventory
BED	Binge-Eating-Disorder
BES	Binge-Eating-Störung
BIS	Behavioral Inhibition System
BIS-11	Barratt-Impulsiveness-Skala, Version 11
BIS-15	Barratt-Impulsiveness-Skala, Version 15
BMI	Body-Mass-Index
BOLD	Blood-Oxygenation-Level Dependent
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	Beziehungsweise
CBF	Cerebral blood flow
cm	Zentimeter
Δ	Delta
DAP	Dubey-Armitage-Parmar
d. h.	das heißt
DLPFC	Dorsolateraler Präfrontalkortex
DPF	Differential pathlength factor
DSM-IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition
DSM-V	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition
dt.	deutsch
EDE-Q	Eating Disorder Examination Questionnaire
EEG	Elektroenzephalographie
etc.	etcetera
Fa.	Firma
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
fNIRS	funktionelle Nahinfrarotspektroskopie

Abkürzungsverzeichnis

FPQ	Food Preference Questionnaire
ggf.	gegebenenfalls
HHb	Desoxygeniertes Hämoglobin
Hb	Hämoglobin
Hz	Hertz
kg	Kilogramm
m	Männlich
m	Meter
m ²	Quadratmeter
MEG	Magnetenzephalographie
min	Minuten
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
nm	Nanometer
O ₂ Hb	Oxygeniertes Hämoglobin
Rx	Receiver
s	Sekunde
s.	Siehe
SKID	Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV
Tx	Transmitter
u. a.	unter anderem
usw.	Und so weiter
v.	Version
v. a.	vor allem
VAS	Visuelle Analogskala
vp	Versuchsperson
vs.	versus
w	weiblich
z. B.	Zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Patienten mit einer Binge-Eating-Störung

Die Binge-Eating-Störung (BES) zählt seit dem Jahre 2013 laut DSM-V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fünfte Edition (Association, 2013)) zu den anerkannten Essstörungen. Weltweit leiden etwa 0,9% der Menschen an einer Binge-Eating-Störung, wobei Frauen etwas häufiger betroffen sind als Männer (Erskine and Whiteford, 2018). In der Gruppe der übergewichtigen Patienten wurde ein vermehrtes Auftreten einer Binge-Eating-Störung verzeichnet (Palavras et al., 2017). Gleichzeitig konnte dargestellt werden, dass sowohl das Auftreten von Essstörungen als auch der Anteil von Menschen mit Übergewicht in den letzten Jahren steigend war (Darby et al., 2009, (NCD-RisC), 2016, Ng et al., 2014).

Sowohl die Essstörung an sich als auch die Folgen des Übergewichts haben erhebliche Auswirkungen auf das Leben der Betroffenen und beeinflussen das Auftreten von Komorbiditäten maßgeblich. So treten somatische Erkrankungen verstärkt auf, wozu das Metabolischen Syndrom (Hudson et al., 2010), Diabetes mellitus Typ 2 und der arterielle Hypertonus zählen (Raevuori et al., 2015, Stein et al., 2014). Es konnte gezeigt werden, dass übergewichtige Patienten mit einer BES diese Komorbiditäten eher entwickeln, verglichen mit Personen, die lediglich übergewichtig sind, (Hudson et al., 2010). Bei Patienten mit einer BES kommt es gehäuft zum Auftreten weiterer psychischer Störungen, v. a. Angsterkrankungen, Suchtmittelabusus und Depressionen (Araujo et al., 2010, Grilo et al., 2009). Auch klagen Patienten mit einer Binge-Eating-Störung über eine erheblich reduzierte Lebensqualität in den Bereichen physische und mentale Gesundheit, soziale Interaktion und Selbstwertgefühl (Perez and Warren, 2012).

Aufgrund dieser Erkenntnisse und der Tatsache, dass aktuell lediglich eingeschränkte Therapiemöglichkeiten zur Verfügung stehen, ist es erforderlich diese Essstörung weiter zu erforschen. Vor allem der Entstehungsmechanismus aber auch erfolgversprechende Therapieansätze sollten hier im Vordergrund stehen.

1.2 Grundlagen der Binge-Eating-Störung

Die Binge-Eating-Störung zählt zu den Essstörungen und ist charakterisiert durch Episoden, in denen es wiederholt zu Essanfällen kommt, bei welchen es zu einem Kontrollverlust bzgl. Menge der Nahrungsaufnahme und Zeitpunkt des Aufhörens kommt (DSM-V, 2013). Weitere Diagnosekriterien umfassen das über den Maßen schnelle Essen, sowie das Essen über das normale Völlegefühl hinaus. Auch das Essen bei Abwesenheit von Hunger, das Essen in Abwesenheit von anderen Personen aufgrund von Schamgefühlen, sowie Schuldgefühle nach einer Essattacke sind typisch für die Erkrankung. Die Patienten klagen dabei über einen großen Leidensdruck. Für die Diagnosestellung müssen die Episoden etwa wöchentlich über drei Monate auftreten und Kompensationsmaßnahmen wie es bei der Bulimia nervosa der Fall ist, z. B. Erbrechen oder der Gebrauch von Abführmitteln, etc., müssen ausbleiben (DSM-V, 2013).

Die Binge-Eating-Störung tritt meist erstmals bei Jugendlichen bzw. jungen Erwachsenen auf, wobei das Durchschnittserkrankungsalter bei etwa 23 Jahren liegt (Kessler et al., 2013, DSM-V, 2013).

Was die Entstehung der Erkrankung betrifft, so gibt es noch großen Aufklärungsbedarf. Es werden genetische sowie familiäre Komponenten vermutet (Hudson et al., 2006). Es wird davon ausgegangen, dass sowohl Umweltfaktoren als auch individuelle Persönlichkeitsmerkmale die Entstehung einer BES begünstigen. So wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen, dass Patienten mit einer BES eine gesteigerte Impulsivität zeigen, v. a. wenn es um Nahrungsmittel bzw. Nahrungsaufnahme geht (Schag et al., 2013a). Da dies ein entscheidender Ansatz sowohl bei der Erkrankungsentstehung als auch bei dem Versuch der Therapieetablierung ist, soll der Fokus im folgenden Kapitel etwas näher auf das Persönlichkeitsmerkmal Impulsivität gelegt werden und wie genau dieses bei Patienten mit einer BES verändert ist.

1.3 Impulsivität als ein Persönlichkeitsmerkmal

Viele Erkrankungen haben einen multifaktoriellen Entstehungsmechanismus, so auch die Binge-Eating-Störung, s. 1.2. Eine maßgebliche Beeinflussung zur Entstehung von psychischen Erkrankungen scheint die Ausprägung verschiedener Persönlichkeitsmerkmale zu haben. Die Impulsivität als ein Persönlichkeitsmerkmal steht bei der BES im Mittelpunkt (Waxman, 2009). In der Literatur wird Impulsivität als Handlung bezeichnet, die plötzlich erfolgt, ohne über die spätere Reaktion nachzudenken (Pschyrembel, 2016). Dieses Persönlichkeitsmerkmal kann aus mehreren Perspektiven betrachtet werden, z. B. aus verhaltenstherapeutischer, psychiatrischer oder aus neurobiologischer Sicht (Ewenden, 1999). Für die vorliegende Arbeit wird ein Ansatz gewählt, der die Impulsivität als ein Merkmal mit verschiedenen Dimensionen beschreibt (Dawe and Loxton, 2004). Zu diesen Dimensionen zählt einerseits die „Belohnungssensitivität“, und zum anderen das „impulsive Handeln“. Die „Belohnungssensitivität“ besagt, dass zielgerichtete Handlungen immer dann ausgeführt werden, wenn ein belohnender Reiz folgt. Beim „impulsiven Handeln“ geht es um das schnelle, teilweise enthemmte Auftreten von Verhalten, ohne sich über die Konsequenzen Gedanken zu machen (Dawe and Loxton, 2004).

In verschiedenen Studien, u. a. Schag et al. (2013b), zeigte sich für beide der oben genannten Dimensionen ein gesteigertes Auftreten bei Patienten mit einer BES. Hierbei war die „Belohnungssensitivität“ v. a. bei Darbietung hochkalorischer Nahrungsmittel erhöht. Das „impulsive Handeln“ zeigte sich bei der Darbietung von Nahrungsmitteln deutlich gesteigert gegenüber anderen Dingen, die nicht nahrungsmittelassoziiert sind, (Giel et al., 2017, Hege et al., 2015a). Mehrere Studien konnten in diesem Zusammenhang auch darstellen, dass Impulsivität in Bezug auf Nahrungsmittel auch bei übergewichtigen Menschen ohne eine BES erhöht zu sein scheint (Giel et al., 2017, Batterink et al., 2010).

Im Allgemeinen wird in den meisten Studien, die sich mit dieser Thematik beschäftigen, versucht, den Grad der Impulsivität zu messen bzw. zu erfassen. Ein Großteil aller bisher durchgeführter Studien nutzte dazu Fragebögen auf Basis der Selbstauskunft wie z. B. die am häufigsten eingesetzte „Barratt Impulsiveness

Einleitung

Scale“ (BIS-11) (Waxman, 2009). Die „BIS-11“ erfasst mit 30 Fragen verschiedene Aspekte der Impulsivität, wobei die Fragen in drei Kategorien eingeteilt werden: 1. „Aufmerksamkeitsaspekt des Impulsverhaltens“, 2. „Motorischer Anteil am Impulsverhalten“ und 3. „Nicht-Geplanter Anteil am Impulsverhalten“ (Patton et al., 1995). Es kann sowohl die Gesamtsumme als auch innerhalb der einzelnen Kategorien Summen berechnet werden, um zu untersuchen, in welchem Bereich der Fokus der Impulsivität eines Einzelnen liegt.

Neuere Studien versuchen immer mehr Impulsivität zu objektivieren, da eine Selbstauskunft diverse Limitierungen, z. B. mangelndes Verständnis oder auch mangelnde Vorstellungskraft eigener Verhaltensweisen, aufweist (Waxman, 2009).

Mittels bildgebender Verfahren in Kombination mit unterschiedlichen Aufgaben wurden neuronale Korrelate zur Impulsivität gefunden und bestimmtes Verhalten mit Impulsivität in Zusammenhang gebracht. Am häufigsten wurden hierbei „Go“ -/„No-Go“-Aufgaben oder auch „Stopp-Signal“-Aufgaben angewendet. Mittels dieser Aufgaben kann inhibitorisches Verhalten hervorgerufen werden. Hierbei wird von Reaktionshemmung (response inhibition) gesprochen, d.h. impulsive (oder automatische) Reaktionen werden kontrolliert oder gehemmt. Es wird weitreichend angenommen, dass ungenügende bzw. fehlende Inhibition mit gesteigerter Impulsivität einhergeht, (Aichert et al., 2012, Horn et al., 2003).

1.4 Inhibitorisches Verhalten während einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe

Eine „Go“-/„No-Go“-Aufgabe ist so konzipiert, dass Teilnehmer ein bestimmtes Verhalten an unterschiedlichen Stellen der Aufgabe zurückhalten/inhibieren sollen. Sie sind aufgefordert bei einem „Go“ schnellstmöglich eine vorher vereinbarte Antwort zu geben und bei einem „No-Go“ genau diese Antwort zurückzuhalten. Üblicherweise wird die zu bearbeitende Aufgabe am Computer durchgeführt, wobei ein „Go“ zumeist durch Tastendruck erfolgt. Über spezielle Software werden in der Folge gewisse Verhaltensdaten wie Reaktionszeit, Auftretensfehler (Commission Errors) oder Auslassungsfehler (Omission Errors) erfasst. Die Reaktionszeit gibt die Zeit zwischen Einblenden eines Objektes und Tastendruck an und wird in Millisekunden (ms) angegeben. Als Auftretensfehler wird definiert, wenn ein „Go“ ausgeführt wird, obwohl ein „No-Go“ erwartet wurde. Dem gegenüber steht ein Auslassungsfehler, der dann auftritt, wenn ein Tastendruck („Go“) ausbleibt, obwohl das dargebotene Objekt ein „Go“ verlangt hätte.

Anhand dieser gewonnenen Verhaltensdaten lassen sich Rückschlüsse auf inhibitorisches Verhalten ziehen, v. a. beim Vergleich verschiedener Probandengruppen. So konnte beispielsweise eine Arbeitsgruppe zeigen, dass erhöhte Summerwerte im BIS-11 mit Auftretensfehlern bei einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe positiv korrelieren (Aichert et al., 2012).

Bisher gibt es nur wenige Arbeiten, die ihr Studiendesign so gewählt haben, dass die inhibitorische Kontrolle auf Essensreize konzipiert wurde (Batterink et al., 2010, Jasinska et al., 2012). Noch weniger Studien haben ein solches Design auf Patienten mit einer BES angewandt (Rösch et al., 2021).

Um inhibitorisches Verhalten besser zu verstehen, wurde in der Vergangenheit begonnen, inhibitorische Kontrollnetzwerke auf neuronaler Ebene zu analysieren, damit gewonnene Verhaltensdaten mit strukturellen und funktionellen Hirnaktivitäten verglichen werden können. Dadurch werden Rückschlüsse auf bestimmtes Verhalten gewonnen (Horn et al., 2003, Hege et al., 2015a).

1.5 Inhibitorische Kontrollnetzwerke – neuronale Grundlagen

Die Inhibition gehört zu der Gruppe der Exekutivfunktionen. In unterschiedlichen funktionellen bildgebenden Verfahren wurden während inhibitorischen Handlungen vermehrte Aktivität in einem präfrontalen kortikalen Netzwerk dargestellt (Garavan et al., 2002). So zeigten diverse Arbeiten, in denen das funktionelle MRT (fMRT) verwendet wurde, dass v.a. rechtsseitige Areale des dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC), des orbitofrontalen Kortex und des vorderen cingulären Kortex während einer Inhibition aktiv sind (Casey et al., 1997, Konishi et al., 1998).

Gleichzeitig scheint auch der linke Präfrontalkortex eine Rolle im Inhibitionsverhalten zu spielen, v. a. aber darin, vorgefertigte Antworten oder Haltungen im Arbeitsgedächtnis zu speichern und bei Bedarf zu verändern (Garavan et al., 2002). Andere bildgebende Verfahren bzw. neurophysiologische Untersuchungen wie bspw. die Magnetenzephalographie (MEG) oder auch die Elektroenzephalographie (EEG) konnten ähnliche Ergebnisse präsentieren (Hege et al., 2014, Lavalée et al., 2014).

Die oben genannten Erkenntnisse konnten auch für spezielle Patientengruppen, hier v.a. Patienten mit einer BES reproduziert werden, wobei hier bereits zu sehen war, dass die Aktivität in präfrontalen Arealen bei Patienten mit einer BES während inhibitorischen Verhaltens eher reduziert war (Hege et al., 2015a).

Die bisher beschriebenen Methoden haben jedoch neben all ihrer Vorteile auch diverse Limitierungen, weshalb es sinnvoll erscheint, weitere Verfahren zu etablieren, um neurophysiologische oder auch neuroanatomische Daten zu erhalten. Das am meisten verwendete funktionelle Magnetresonanztomografie (MRT) bietet eine hohe räumliche Auflösung und erfasst damit auch subkortikale Strukturen, hat jedoch vergleichsweise eine geringe zeitliche Auflösung. Außerdem sind Untersuchungen in einem MRT nicht nur kostenintensiv, es gibt zahlreiche Kontraindikationen, die eine Untersuchung im MRT unmöglich machen. So müssen häufig Probanden/Patienten mit Metallen im Körper oder Tattoos ggf. ausgeschlossen werden. Die beengte Röhre stellt für Patienten mit Angsterkrankungen oder massivem Übergewicht ein Problem dar.

Die funktionelle Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) ist ein weiteres nicht-invasives neurophysiologisches Verfahren, welches sich ähnlich wie das funktionelle MRT (fMRT) die hämodynamische Antwort als indirektes Korrelat zu neuronaler Aktivität zu Nutze macht. Während beim fMRT der BOLD-Effekt (Blood-Oxygenation-Level Dependent-Effekt) zum Tragen kommt, werden beim fNIRS Veränderungen von oxygeniertem Hämoglobin (O_2Hb) und desoxygeniertem Hämoglobin (HHb) betrachtet. Es handelt sich um unterschiedliche Messmethoden, die jedoch Ähnlichkeiten aufweisen und stark miteinander korrelieren (Steinbrink et al., 2006, Sato et al., 2013).

Das fNIRS stellt eine kostengünstige Alternative zum fMRT dar, welche leichter verfügbar ist und sowohl für den Probanden als auch für das Studiendesign große Vorteile bieten kann. So können Probanden verschiedene Körperhaltungen einnehmen, bspw. Sitzen oder Stehen. Selbst Laufen oder andere Bewegungen stellen nicht per se eine Kontraindikation für die Durchführung der Untersuchung dar. Auch Probanden mit starkem Übergewicht können im Vergleich zum fMRT gut gemessen werden.

Es haben bereits einige Arbeiten gezeigt, dass im präfrontalen Kortex Aktivitäten mittels fNIRS abgeleitet, und auch ähnliche Ergebnisse wie bei vergleichbaren Untersuchungen, z. B. mit dem fMRT, erzielt werden können, u. a. Suda et al (2010). Hierbei ist fNIRS im Gegensatz zu fMRT auf die kortikalen Areale beschränkt.

Eine aktuelle Arbeit hat sogar ein sehr ähnliches Studiendesign gewählt wie in dieser vorliegenden Arbeit, wobei die Arbeitsgruppe um Rösch et al. erarbeitete, dass sowohl Probanden mit einer Binge-Eating-Störung als auch übergewichtige Probanden ohne Binge-Eating-Störung mehr Impulsivität und eine Hypoaktivität im Bereich des Präfrontalkortexes beim Bearbeiten einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe aufweisen als normalgewichtige Probanden (Rösch et al., 2021). Auch sie nutzten die Nahinfrarotspektroskopie in Kombination mit einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe, bei welcher durch die Probanden stark präferierte Nahrungsmittel präsentiert wurden, und eine Antwort immer dann zurückgehalten werden sollte, wenn das Nahrungsmittel von einem roten Rahmen umgeben war.

Einleitung

Allerdings gibt es bisher noch keine Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle mit fNIRS bei Patienten mit einer BES, während diese eine visuelle „Go“-/„No-Go“-Aufgabe bearbeiteten, bei der zwischen „gesunden, kalorienarmen“ und „un-gesunden, kalorienreichen“ Nahrungsmitteln diskriminiert werden sollte. Hierbei haben wir eine Patientengruppe mit einer BES mit gesunden Kontrollprobanden verglichen. Einige der erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse wurden bereits durch Veit et al im Jahre 2021 unter dem Titel „Diminished prefrontal cortex activation in patients with binge eating disorder associates with trait impulsivity and improves after impulsivity-focused treatment based on a randomized controlled IMPULS trial“ veröffentlicht. In dieser vorliegenden Arbeit wird immer wieder auch Bezug auf diese Publikation genommen.

Im folgenden Kapitel soll noch etwas näher auf die Funktionsweise der Nahinfra-rotspektroskopie eingegangen werden.

1.6 Was ist Nahinfrarotspektroskopie?

Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ist ein nicht-invasives Messverfahren, bei dem durch Lichtemission und -detektion bestimmter Wellenlängen Konzentrationsänderungen von oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin ermittelt werden.

Erstmals wurde dieses Verfahren 1977 durch eine Arbeitsgruppe um Jobsis *in vitro* an Tieren angewandt (Jobsis, 1977). Bereits zu dieser Zeit wurde postuliert, dass NIRS ein gutes Verfahren darstellen könnte, um *in vivo* sowohl Konzentrationsänderungen von oxygeniertem, desoxygeniertem Hämoglobin und Cytochromen, als auch Blutflüsse in unterschiedlichen Geweben zu erfassen.

Über die Jahre hat sich das Verfahren weiterentwickelt, sodass sich NIRS in den letzten Jahrzehnten als eine validierte Messmethode mit unterschiedlichsten Zielen, Ergebnissen und Erkenntnissen für Medizin und Wissenschaft etablierte.

Seit ca. 1993 wird NIRS verwendet, um kortikale Aktivität bei Erwachsenen *in vivo* zu erfassen (Villringer et al., 1993, Hoshi et al., 2001), was in der Folge auch auf Kinder und Neugeborene ausgeweitet werden konnte (Meek et al., 1998). Gleichzeitig wurde festgestellt, dass sich das Verfahren eignet, um die Oxygenierung in verschiedenen Geweben, z. B. kortikalen Anteilen des Gehirns oder Muskeln zu messen und somit Veränderungen, die unter Umständen einen therapeutischen Nutzen darstellen, zu detektieren (Edmonds Jr et al., 2004, Casati et al., 2006, Quaresima et al., 2003). In den vergangenen Jahren haben sich sowohl die Anwendungsbereiche als auch die Technik an sich weiterentwickelt. Während in den Anfängen lediglich ein Kanal (ein Lichtsender und ein Lichtempfänger) verfügbar war, sind heute deutlich mehr Kanäle gleichzeitig etabliert (Multikanal-Geräte). Somit kann ein wesentlich größerer Bereich simultan erfasst werden. Des Weiteren gibt es heutzutage portable Geräte, die weitere Einsatzgebiete möglich machen.

Die grundsätzliche Funktionsweise ist dabei weitestgehend sehr ähnlich und soll im Folgenden kurz erläutert werden.

Wie bereits erwähnt, nutzt ein NIRS-Gerät nahinfrarotes Licht, welches an die Lichtsender, die zumeist auf die Haut aufgebracht werden, geleitet wird. Dieses

Einleitung

Licht gelangt in der Folge ins Gewebe und durchringt nun die auf dem Weg liegenden Strukturen wie Haut, subkutanes Fettgewebe, Schädelknochen, Hirngewebe, etc. Es wird teilweise von den chromophoren Gruppen des Hämoglobins, Myoglobins oder der Cytochrom-Oxidase absorbiert, teilweise jedoch auch in einer bestimmten Bahn reflektiert bzw. gestreut und kann dort, wo es wieder an die Oberfläche dringt, von einem Empfänger detektiert werden. Entscheidend für die Funktionsweise ist, dass bestimmte Gewebe für das Licht aus dem nahinfraroten Bereich überwiegend durchlässig sind, so z. B. Knochen oder Muskeln. Dabei befinden sich die üblicherweise genutzten Wellenlängen zwischen 600-1000 nm, was gerne als „optisches Fenster“ bezeichnet wird. Wird davon ausgegangen, dass die Streuung bei einer Messung gleichbleibt, lässt sich daraus schließen, dass Signaländerungen auf eine veränderte Absorption und damit auf eine Konzentrationsänderung von oxygeniertem (O_2Hb) bzw. desoxygeniertem (HHb) Hämoglobin zurückzuführen sind, da beide chromophoren Gruppen ihren Absorptionskoeffizienten im nahinfraroten Bereich haben (Villringer et al., 1997). Um O_2Hb und HHb zu diskriminieren, wird zumeist Licht zweier, manchmal weiterer Wellenlängen ausgesandt.

Es werden drei unterschiedliche Messmethoden unterschieden: eine zeitlich modulierte Methode, eine frequenzmodulierte und eine Messung mit kontinuierlicher Welle (continuous-wave system). Bei der zeitlich modulierten Methode werden die Lichtstrahlen pulsatil entsandt, die zeitlich variable Detektion der gestreuten Photonen wird erfasst, was eine Diskriminierung zwischen Absorption und Streuung ermöglicht und eine größere räumliche Auflösung gestattet. Bei der frequenzmodulierten Methode wird Licht mit kontinuierlicher Welle entsandt, jedoch variiert die Frequenz des Lichtes, sodass beim Empfänger unterschiedliche Amplituden und auch gewisse Verzögerungen detektiert werden, die dann wiederum Rückschlüsse auf Absorption und Streuung zulassen und eine erhöhte Abtastrate ermöglichen. Die Abtastrate wird in Hertz (Hz) angegeben und beschreibt, an wie vielen Zeitpunkten pro Sekunde Licht detektiert und dokumentiert wird. Beide Verfahren können mittels spezifischer Berechnungen Absolutwerte von Hämoglobin liefern und eignen sich, um die Oxygenierung in Geweben zu erfassen (Chance et al., 1988, Chance et al., 1998).

Die dritte Methode ist die der kontinuierlichen Welle, welche auch in dieser vorliegenden Arbeit, erzeugt durch das Nahinfrarotspektroskopiegerät OXYMON MK III der Fa. Artinis, verwendet wird. Hierbei wird kontinuierlich Licht mit bestimmter Wellenlänge und festgelegter Frequenz ausgesandt. Das, nach Absorption und Streuung, detektierte Licht zeigt lediglich eine geringere Intensität und damit eine geringere Amplitude. Dadurch lassen sich in diesem Setting nur Konzentrationsänderungen darstellen, keine Absolutwerte. Auch ist eine Diskriminierung zwischen Absorption und Streuung nicht möglich. Dafür bietet diese Messmethode den Vorteil der hohen Abtastrate. Die Änderung der Lichtintensität entsteht somit auch durch Konzentrationsänderung von O_2Hb und HHb .

Zur Berechnung der Differenzen von O_2Hb (ΔO_2Hb) und HHb (ΔHHb) wird eine modifizierte Lambert-Beer-Gleichung benutzt. Dafür bedarf es unter anderem der Extinktionskoeffizienten der beiden chromophoren Gruppen von O_2Hb und HHb für die beiden spezifischen Wellenlängen. Außerdem wird der Abstand zwischen den Sendern und Empfängern benötigt, der meist drei bis vier Zentimeter (cm) beträgt. Weiterhin bedarf es den dimensionslosen Weglängenfaktor, „differential pathlength factor“ (DPF), einen Wert, der näherungsweise den Verlauf des Lichtes im Gewebe, welches mehrfach gebrochen wird, beschreiben soll. Der DPF ist abhängig von dem zu durchdringenden Gewebe, von der Wellenlänge des Lichts und vom Alter des Probanden (Scholkmann and Wolf, 2013).

1.7 Hypothesen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, ob Probanden mit einer Binge-Eating-Störung über eine, gegenüber gesunden Kontrollprobanden, reduzierte inhibitorische Kontrolle verfügen. Dazu wurden in der Arbeit folgende Hypothesen aufgestellt:

- Es wird angenommen, dass Patienten mit BES gegenüber gesunden Kontrollprobanden eine schnellere Reaktionszeit in der Bedingung „Ungesund“ aufweisen.
- Es wird hypothetisiert, dass Patienten mit BES gegenüber gesunden Kontrollprobanden mehr Kommissionfehler („No-Go“-Fehler) in der Bedingung „Ungesund“ zeigen.
- Während der Darbietung von Nahrungsmitteln in einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe werden stärkere Oxy-Hb Aktivierungen im dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC) bei gesunden Kontrollprobanden und Patienten mit einer Binge-Eating-Störung im Vergleich „No-Go“ vs. „Go“ erwartet.
- Es wird postuliert, dass die Aktivierung im dorsolateralen Präfrontalkortex bei gesunden Kontrollprobanden stärker ist als bei Patienten mit BES im Vergleich „No-Go“ vs. „Go“ mit ungesunden Nahrungsmitteln als „No-Go“ Stimuli.
- Während der Darbietung von Nahrungsmitteln in einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe werden stärkere Aktivierungen im rechten dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC) als im linken DLPFC bei gesunden Kontrollprobanden und Patienten mit einer Binge-Eating-Störung erwartet.
- Es wird angenommen, dass höhere Impulsivitätswerte bei Probanden mit BES mit einer geringeren Oxy-Hb-Antwort im DLPFC einhergehen.

2 Material und Methoden

Die verwendeten Materialien und Softwares können den Tabelle 12 und Tabelle 13 im Anhang entnommen werden.

2.1 Probanden und Studiendesign

Die vorliegenden Daten wurden im Rahmen einer prospektiven, kontrollierten, randomisierten Studie erhoben. Die Datenerhebung wurde durch die Ethikkommission der Universität Tübingen genehmigt (Projektnummer: 245/2015BO2). Aus Gründen der Lesbarkeit wurde im Text für alle Probanden die männliche Form gewählt, nichtsdestoweniger beziehen sich die Angaben auf Angehörige aller Geschlechter.

An unserer Studie nahmen sowohl gesunde Kontrollpersonen teil als auch Patienten mit einer diagnostizierten BES.

Die Patienten mit einer Binge-Eating-Störung wurden durch die Medizinische Klinik Tübingen, Abteilung VI, Psychosomatische Medizin und Psychotherapie, rekrutiert. Es wurde im Besonderen darauf geachtet, dass die Probanden Kriterien einer BES nach DSM-V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fünfte Edition) erfüllten (Brownley et al., 2016). So konnten insgesamt 24 Patienten in die fNIRS-Studie eingeschlossen werden. Sie waren zwischen 19-63 Jahren alt und der BMI lag zwischen 22,6-59,7 kg/m², siehe Tabelle 1.

Die gesunden Kontrollen wurden über einen genehmigten Aufruf über das Intranet des Universitätsklinikums Tübingen rekrutiert, wodurch insgesamt zwölf Teilnehmer (7 weiblich, 5 männlich) gewonnen wurden. Die gesunden Kontrollprobanden waren zwischen 24-60 Jahren alt und der Body-Mass-Index (BMI) lag zwischen 20,9-27 kg/m² (Berechnung erfolgte nach der Formel: $BMI = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körperhöhe in m})^2}$), siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 Merkmale der Probanden Abgebildet sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen; p-Werte basieren auf t-Tests bei unabhängigen Stichproben. Signifikante Werte wurden hellgrau hinterlegt.

	Gesunde Kontrollprobanden	Patienten mit BES	p-Werte
Geschlecht (w/m)	7/5	20/4	
Alter (Jahren)	39.2±12.0	42,5 ± 12,7	<0,001
BMI (kg/m²)	23.7±1.6	39,3 ± 9,7	0,150

36 Probanden erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die Studie eingeschlossen. Ein- und Ausschlusskriterien finden sich in Tabelle 2. Die Probanden waren alle älter als 18 Jahre alt und durchweg physisch, psychisch und auch kognitiv in der Lage, ihr Einverständnis mittels persönlicher Unterschrift zu erteilen.

Tabelle 2 Ein- und Ausschlusskriterien der Nahinfrarotspektroskopiestudie

<p><u>Einschlusskriterien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Proband muss über 18 Jahre alt sein • Probanden muss seine schriftliche Einwilligung geben können • BES-Patient muss eine nach DSM-V diagnostizierte Binge-Eating-Esstörung aufweisen
<p><u>Ausschlusskriterien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Erkrankungen bzw. Medikamente, die das Gewicht oder das Essverhalten beeinflussen, z. B. Diabetes mellitus oder Schilddrüsenerkrankungen • Schwangerschaft und Stillzeit • Psychiatrische Medikamente mit Ausnahme von Antidepressiva • Aktuelle oder stattgehabte schwere Kopfverletzungen • Neurologische Erkrankungen • Bipolare Störung • Suchterkrankungen • Schulausbildung unter 9 Jahren • Nicht-korrigierte Sehstörung • Kontrollprobanden mit diagnostizierter Essstörung

2.2 Studienprotokoll

2.2.1 Vorbereitung

Die durch die Klinik für Psychosomatik und Psychotherapie rekrutierten Patienten mit einer BES wurden für eine Therapiestudie mit dem Namen „IMPULS“ gewonnen (Schag et al., 2016, Schag et al., 2019). Im Rahmen dieser „IMPULS“-Studie nahmen diejenigen Patienten an der Nahinfrarotstudie teil, die die oben genannten Einschlusskriterien erfüllten (s. Tabelle 2). Bevor sie jedoch an der aktuellen Studie teilnehmen konnten, wurden die Patienten durch die Kollegen der Abteilung Psychosomatik und Psychotherapie zunächst randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt. Ein Teil der Probanden sollte im Rahmen der „IMPULS“-Studie an einer wöchentlichen 90-minütigen verhaltenstherapeutischen Gruppenbehandlung teilnehmen. Der andere Teil bildete die Gruppe der Kontrollprobanden mit einer BES und erhielt keine Verhaltenstherapie.

Vor Beginn der achtwöchigen Verhaltenstherapie wurden alle Patienten an einem separaten Termin ärztlich untersucht. Es wurde Größe und Gewicht bestimmt, der BMI errechnet und die Diagnose „Binge-Eating-Störung“ gesichert. Dies erfolgte durch eine strukturierte Anamnese unter Zuhilfenahme des SKID-I (Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV, Achse I) (Wittchen et al., 1997). Im Anschluss füllten die Patienten mehrere Fragebögen aus. Sie sollten mittels EDE-Q (Eating Disorder Examination Questionnaire) (Fairburn and Beglin, 1994, Hilbert and Tuschen-Caffier, 2006) angeben, wie ihre Essgewohnheiten seien. Des Weiteren füllten die Patienten zur Erfassung der Schwere einer möglichen Depression den „Becks Depression Inventory“-Fragebogen (BDI-II) aus (Beck et al., 1961, Kuhner et al., 2007). Im Besonderen war sowohl für die fNIRS-Studie als auch die „IMPULS“-Studie die Ausprägung verschiedener Persönlichkeitsmerkmale von Bedeutung. Die Patienten sollten dafür den deutschsprachigen BIS/BAS-Fragenbogen (BIS = Behavioral Inhibition System, BAS = Behavioral Approach System) (Carver and White, 1994, Strobel et al., 2001) vervollständigen, um zu erfassen, inwieweit in bestimmten Situationen Verhaltenshemmung bzw. Verhaltensaktivierung auftritt.

Um den Aspekt der Impulsivität der Patienten genauer zu eruieren, wurde ihnen zusätzlich der BIS-15-Fragebogen (Barratt-Impulsiveness-Skala, Version 15)

(Patton et al., 1995, Preuss et al., 2008, Meule et al., 2011) vorgelegt, eine Kurzversion des BIS-11-Fragebogens mit nur 15 Fragen.

Erfüllten die Patienten nach dieser Erstuntersuchung noch immer die Einschlusskriterien sowohl für die „IMPULS“-Studie als auch die fNIRS-Studie, konnten sie, wie oben beschrieben, in eine der beiden Gruppen eingeteilt werden. Insgesamt nahmen 25 Patienten an der Studie teil, wobei von diesen 25 Patienten elf Patienten die Verhaltenstherapie absolvierten, die anderen 14 gehörten der Kontrollgruppe an (Schag et al., 2016, Veit et al., 2021, Schag et al., 2019).

Nach erfolgter fNIRS-Messung nahmen die BES-Probanden an einer mehrwöchigen Intervention im Sinne einer Verhaltenstherapie teil. Im Rahmen der Dissertation von Jann Kreutzer an der medizinischen Fakultät Tübingen mit dem Titel „Änderung der inhibitorischen Aktivität des Präfrontalkortex nach Gruppeninterventionstherapie bei Personen mit Binge-Eating-Störung“ erfolgten weitere fNIRS-Messungen bei den Patienten mit BES nach erfolgter Therapie. In der vorliegenden Dissertation wurde der Schwerpunkt auf den Vergleich zwischen den BES-Patienten und den gesunden Kontrollprobanden vor Beginn der Intervention gelegt, was als Baseline-Messung dienen sollte und als Zeitpunkt T0 bezeichnet wurde.

Die gesunden Kontrollprobanden unterzogen sich nur einer einmaligen Messung, und erhielten vorweg auch keine spezielle ärztliche Untersuchung, mussten jedoch versichern, dass sie alle Einschlusskriterien und keine der Ausschlusskriterien erfüllten (s. Tabelle 2). Der Ablauf eines Messtages gestaltete sich sowohl für die Patienten mit BES als auch die gesunden Kontrollprobanden sehr ähnlich, wie es in folgendem Kapitel beschrieben wird.

2.2.2 Ablauf eines Messtages

Die fNIRS-Messungen fanden vormittags statt. Alle Probanden wurden gebeten, mindestens zwei Stunden vor Beginn der Messungen ein „normales“ Frühstück zu sich zu nehmen. Die gesamte Zeitdauer inklusive Vorbereitung, Messung und Nachbereitung dauerte jeweils 60-90 min.

Im Rahmen der Rekrutierung, welche vor den Messungen stattfand, erhielt jeder Proband eine Einverständniserklärung, welche ausführlich erläutert und anschließend durch die Probanden unterschrieben wurde. Am Versuchstag wurden die Probanden umfassend in den Ablauf der Messung eingewiesen. Sie erhielten zunächst mehrere Fragebögen, wobei u. a. Alter, Größe, Gewicht und der Zeitpunkt der letzten Mahlzeit erfasst wurden. Außerdem wurde die Händigkeit mittels Händigkeitstest ermittelt (Oldfield, 1971). 34 von 36 Probanden waren Rechtshänder, die anderen beiden Linkshänder. Abschließend wurde anhand eines Fragebogens das aktuelle Befinden des jeweiligen Probanden erfragt. Sie sollten u. a. angeben, wie hungrig oder durstig sie sind bzw. wie groß ihr aktueller Bedarf nach Bewegung oder Aufregung ist. Die Angabe erfolgte mittels Markierung auf einer visuellen Analogskala (VAS), welche von 1-10 ging. Hierbei bedeutete die Markierung bei einer 1 kein Bedürfnis und bei einer 10 ein maximales Bedürfnis für das jeweilige Befinden.

Für die folgenden Messungen saßen die Probanden auf einem höhenverstellbaren Stuhl, um eine „optimale“, entspannte Haltung vor dem Schreibtisch, auf dem sich ein Computermonitor befand, einzunehmen. Auf dem Schreibtisch befand sich des Weiteren eine Standardtastatur und eine Standard-Computermaus.

In der ersten Aufgabe sollten die Probanden die Bilder von Nahrungsmitteln, welche im Verlauf während der fNIRS-Messungen zeigten, in die Kategorien gesund vs. ungesund und schmackhaft vs. nicht schmackhaft einteilen. Insgesamt waren 80 Bilder zu betrachten, hiervon 40 Bilder von gesunden niederkalorischen Nahrungsmitteln und 40 Bilder von ungesunden hochkalorischen Nahrungsmitteln (s. Abbildung 1). Die Bilder bezogen wir vorab über eine Datenbank (<http://food-pics.sbg.ac.at>), welche durch eine Arbeitsgruppe um Blechert et al. (2014) erstellt

Material und Methoden

wurde. Die Bilder wurden durch Blechert et al. kategorisiert, wobei sich die abgebildeten gesunden Nahrungsmittel in der Kalorienanzahl signifikant von den ungesunden Nahrungsmitteln unterscheiden. Um auszuschließen, dass visuelle Merkmale die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestimmen (z. B. Komplexität, Helligkeit, Positionierung im Bild), wurden die beiden Bildkategorien (hochkalorisch und niederkalorisch) gematched.

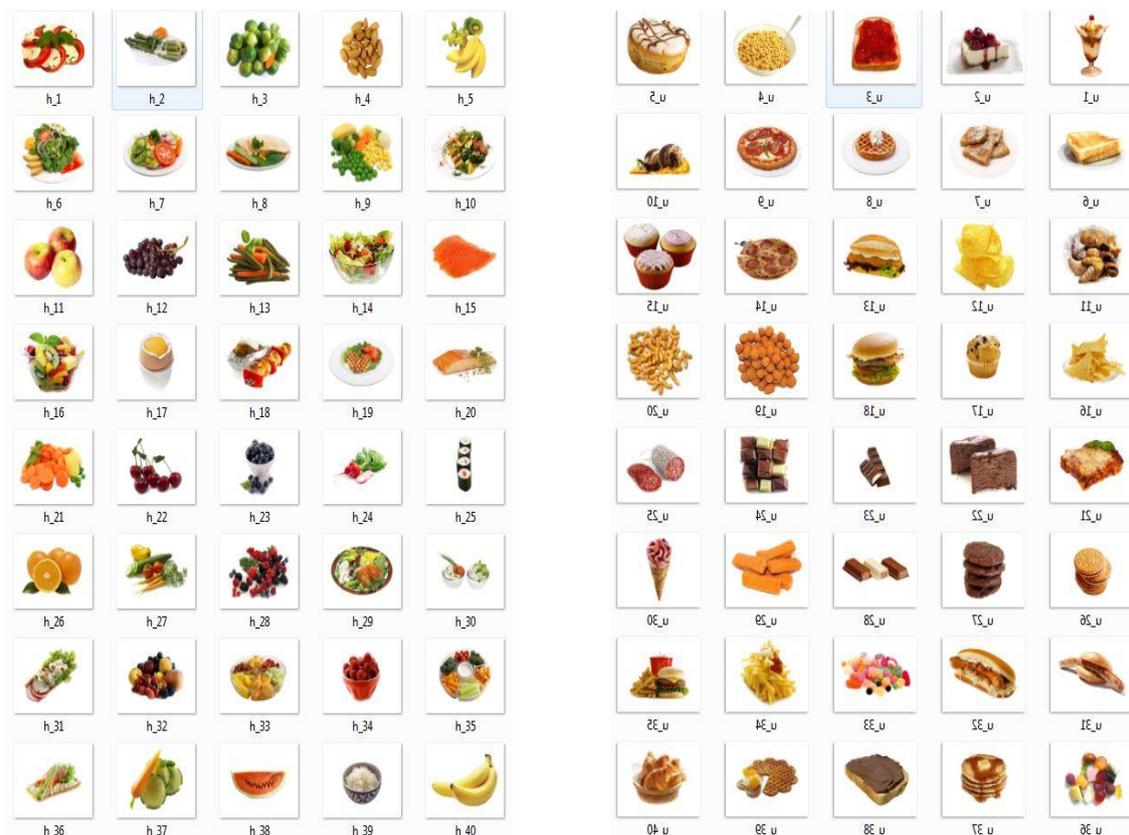


Abbildung 1 Bilder der 80 verwendeten Nahrungsmitteln

Links: 40 gesunde Nahrungsmittel; Rechts: 40 ungesunde Nahrungsmittel.

Unter Zuhilfenahme der Software „Presentation“, Version 18.1, Fa. Neurobs, wurde zu Beginn die Aufgabe „healthy-rating“ geladen. Hierbei sollte jeder Proband individuell für sich entscheiden, ob ein ihm dargebotenes Nahrungsmittel eher gesund oder eher ungesund ist. Dafür wurde für jeden Probanden ein eigener Probandencode als eigene Datei angelegt (z. B. T0_vp01). Hierbei stand T0 für den Zeitpunkt der Messung. Die vp's (Versuchsperson/Proband) wurden chronologisch nach dem Erscheinen der Probanden durchnummeriert, so dass der erste Proband den Code vp01 und der zweite Proband vp02 erhielt, usw. Der Code war wichtig, damit für jeden Versuchstag individuelle „logfiles“ angelegt werden konnten. Das sind Dateien, die das Ergebnis der bei „Presentation“ zu lösenden Aufgaben dokumentieren und für die spätere Auswertung erforderlich waren.

Wenn die Aufgabe „healthy-rating“ geladen war, erhielten die Probanden Anweisungen auf dem Bildschirm, welche sie lesen sollten. Gleichzeitig wurden diese Anweisungen auch durch den Versuchsleiter noch einmal wiederholt. Demnach sollten die Probanden jedes Bild betrachten und mit den Zahlen 1-5 bewerten, wobei 1 = sehr gesund, 2 = gesund, 3 = weiß nicht, 4 = ungesund und 5 = sehr ungesund bedeuteten. Die Probanden hatten für diese Aufgabe keine Zeitbegrenzung, sie konnten die Bilder in Ruhe betrachten und so individuell eine Entscheidung für jedes abgebildete Nahrungsmittel treffen. Sowie der Proband diese Aufgabe beendete, wurde am PC die nächste Aufgabe „taste-rating“ geladen. Hierbei sollten die Probanden erneut die gleichen 80 Bilder betrachten und individuell für sich entscheiden, wie schmackhaft sie jedes einzeln abgebildete Nahrungsmittel finden. Die Auswahl konnten sie erneut mit den Zahlen 1-5, wobei 1 = schmeckt sehr gut, 2 = schmeckt gut, 3 = weiß nicht, 4 = schmeckt nicht gut, 5 = schmeckt überhaupt nicht, bedeutete. Mit Beendigung dieser Aufgabe waren die Zielsetzungen erfüllt und die Vorbereitungen für die eigentlichen fNIRS-Messungen konnten begonnen werden.

Für die fNIRS-Messungen sollten die Probanden eine möglichst bequeme Haltung einnehmen, um Bewegungen während der folgernden 40-45 min zu minimieren. Die Probanden befanden sich in einem Abstand von 60-80 cm vor dem

Material und Methoden

Monitor (s. Abbildung 4). Um die Messinstrumente über dem dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC) zu platzieren, wurde der Kopf mittels einer international anerkannten Technik aus dem Bereich des EEGs vermessen (Jasper, 1958): Das hierzu verwendete 10-20-System half, die Optoden (Messaufnehmer des fNIRS-Systems) richtig zu platzieren. Zunächst wurden die Punkte Nasion und Inion bestimmt und der Abstand zwischen diesen beiden Punkten mittels herkömmlichem Maßband ausgemessen. Die Mitte dieser Verbindungslinie wurde mit einem handelsüblichen Kajalstift markiert. Zur Verifizierung, dass dieser Punkt genau auf der Mittellinie von frontal nach occipital lag, wurde zusätzlich der Abstand zwischen den beiden präaurikulären Punkten A1 zu A2 gemessen, wobei das Maßband knapp neben dem zuvor markierten Punkt verlaufen sollte. Auch auf dieser Verbindungslinie wurde der Abstand bestimmt und der Mittelpunkt, welcher sich gleichzeitig auf Höhe der ersten Markierung befinden sollte, mittels Kajal als Cz markiert (s. Abbildung 2). Nun wurde den Probanden vorübergehend eine spezielle Stoffhaube mit drei Löchern aufgesetzt, wobei ein zentrales Loch direkt über der Cz-Markierung zu liegen kam. Die anderen beiden Löcher kamen bei korrekter Platzierung rechtsseitig über dem Punkt F4 und linksseitig über dem Punkt F3 zu liegen (s. Abbildung 2). Auch diese Punkte wurden durch die vorhandenen Löcher mit dem Kajal markiert.

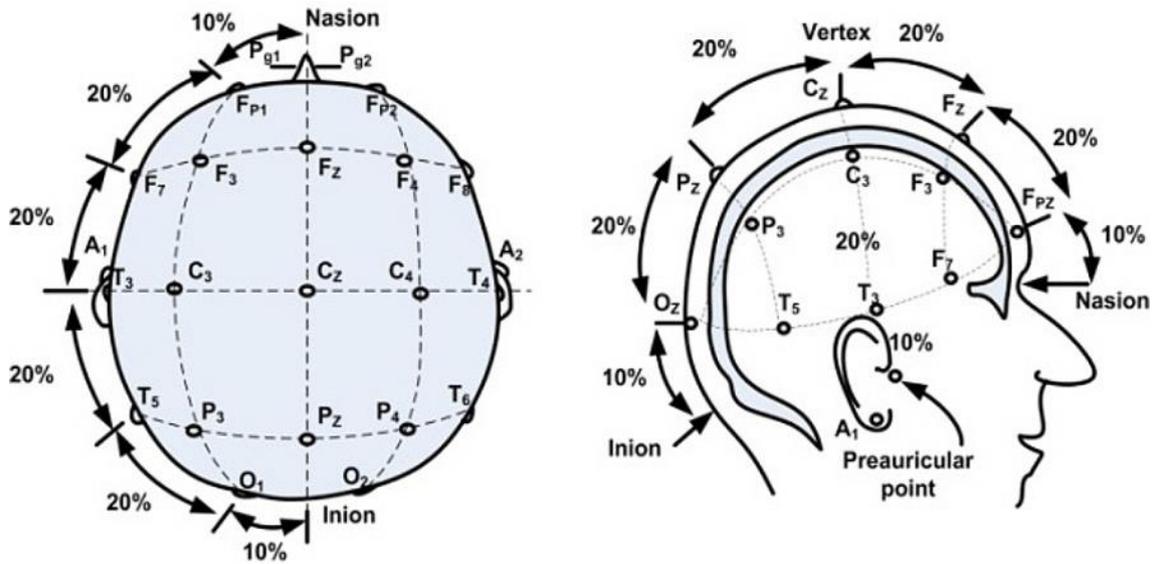


Abbildung 2 Darstellung der Messpunkte am Kopf nach Jasper (1958)

Linkes Bild: Betrachtung des Kopfes und des 10-20-Systems von oben, wobei v. a. die Punkte Nasion, Inion, Cz, A1 und A2, F3 und F4 relevant sind. Rechtes Bild: Ansicht des Kopfes und des 10-20-Systems von der Seite.

Für den folgenden Teil der Studie wurden die Hardware und die Software genutzt, die in Tabelle 12 und Tabelle 13 aufgelistet sind und die von der Firma Artinis (Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande) zur Verfügung gestellt wurden. Das System bestand aus zwei L-förmigen Optodenhaltern, welche zur Befestigung der Optoden (Lichtleiter) auf den Köpfen der Probanden benutzt wurden. Jedes Loch für das Einbringen einer Optode befindet sich in der Mitte einer quadratischen Kunststoffplakette. Die einzelnen Plaketten eines Optodenhalters waren mittels beweglicher Elemente untereinander verbunden, sodass sich der Optodenhalter sehr gut an die individuelle Oberflächenform des Kopfes anpassen konnte. Zur Orientierung wurden die jeweils zentralen Löcher der Optodenhalter direkt über den zuvor markierten Punkten F3 und F4 platziert. Die Anordnung der Optodenhalter kann in den Abbildungen Abbildung 3 und Abbildung 4 nachvollzogen werden. Zur Befestigung der Optodenhalter dienen elastische Gummibänder mit Klettverschluss, welche sowohl am Rand der Optodenhalter als auch mittig zwischen beiden Halttern befestigt waren. Diese Bänder wurden hinter dem Kopf der Probanden verschlossen, sodass die Optodenhalter eng an der Kopfoberfläche anhafteten und nicht verrutschen konnten.

Im folgenden Schritt wurden die Optoden in die Optodenhalter platziert, zur Funktion s. Kapitel 2.3. Die Bezeichnung der Optoden unterscheiden sich im Folgenden hierin: Alle Optoden mit gelbem Kabel sind Lichttransmitter, sie entsenden Licht. Optoden mit blauen Kabeln (Receiver = Empfänger) empfangen Lichtsignale. Die in Abbildung 3 mit Tx1-8 gekennzeichneten Optoden stellen die Transmitter dar, die mit Rx1a-Rx4b gekennzeichneten Optoden die Empfänger. Nach der Vorlage in Abbildung 4 wurden die Optoden nacheinander in die dazugehörigen Löcher der Optodenhalter platziert. Dazu war es bei Probanden mit v. a. dunklen Haare nötig, die Haare unter jedem Loch etwas zur Seite zu schieben, um eine Signalabschwächung zu vermeiden (Lloyd-Fox et al., 2010). Die Befestigung der Optoden in den Löchern erfolgte mithilfe kleiner Schrauben und einem dazu passenden Schraubenzieher.

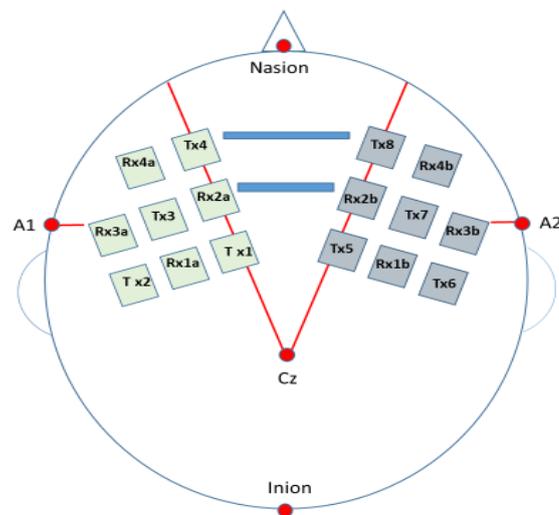


Abbildung 3 Betrachtung des Kopfes von oben mit aufliegenden L-förmigen Optodenhaltern

Tx steht für Transmitter, Rx für Receiver, Tx3 liegt über F3, Tx7 über F4, die roten Punkte markieren die Stellen, die zuvor für die Bestimmung von Cz nötig waren (Nasion, Inion, Cz, A1 und A2).

Anhand einer kurzen Testphase wurde ermittelt, ob eine stabile Verbindung zwischen den Transmittern und den Empfängern besteht (s. Kapitel 2.3). Nach einer standardisierten Erläuterung des nachfolgenden Ablaufs durch den Versuchsleiter, konnten sich die Probanden in einer Übungssequenz mit dem Studienparadigma vertraut machen. Nun folgten die eigentlichen zwei Messsequenzen (für detaillierte Informationen zu den Messsequenzen s. Kapitel 2.4).

Nach Abschluss der zweiten Messabfolge wurden die Optodenhalter entfernt. Die Probanden erhielten erneut einen Fragebogen zu ihrem aktuellen Befinden bzgl. Hunger, Durst, Aufregung, Bewegungsdrang, etc. Abschließend erhielten die Probanden einen deutschsprachigen Fragebogen zur Präferenz von bestimmten Nahrungsmitteln (FPQ = Food Preference Questionnaire) (Geiselman et al., 1998).



Abbildung 4 Position des Probanden vor dem Computermonitor

Angelegte Optodenhalter und integrierten Transmitterkabeln (gelb) und Empfängerkabeln (blau). Im linken Bildabschnitt befindet sich der Laptop, darunter (nicht sichtbar) die beiden fNIRS-Aufzeichnungsgeräte OXYMON MK III.

2.3 fNIRS-Aufzeichnung

2.3.1 Anordnung der Gerätschaften

Die Aufzeichnung der fNIRS-Daten erfolgte mit dem Nahinfrarotspektroskopiegerät OXYMON MK III der Fa. Artinis (Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande), s. Abbildung 5. Die Grundlagen der Nahinfrarotspektroskopie sind in der Einleitung beschrieben (s. Kapitel 1.6). Es konnten bei zwei Wellenlängen (847 nm und 761,5 nm) Veränderungen in der Lichtabsorption registriert und dadurch mittels modifizierter Lambert-Beer-Gleichung und dem Differential Path Factor (DPF) Konzentrationsänderungen von oxygeniertem Hämoglobin (O₂Hb) und desoxygeniertem Hämoglobin (HHb) errechnet werden.



Abbildung 5 fNIRS-Geräte

Abgebildet sind zwei koppelbare fNIRS-Aufzeichnungsmodule vom Typ OXYMON MK III der Fa. Artinis

Ein OXYMON MK III kann Lichtsignale an bis zu vier Transmitter-Optoden senden und von bis zu vier Empfänger-Optoden Signale wieder aufnehmen. Ein Hauptgerät, welches als „Master“ bezeichnet wird, kann mit einem zweiten nahezu baugleichen OXYMON MK III, welcher dann als „Slave“ bezeichnet wird, gekoppelt werden, sodass insgesamt Lichtsignale an bis zu acht Transmitter gesendet und von bis zu acht Empfängern wieder aufgenommen werden können. Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, wurden auf jede Kopfhemisphäre vier Transmitter (Tx) und vier Receiver/Empfänger (Rx) aufgebracht. Der Abstand zwischen einem Transmitter und einem Receiver war mit 3,5 cm immer gleich. Dadurch,

dass ein Transmitter Licht in alle Richtungen sendet, konnte von allen umliegenden Empfängern Licht aufgenommen werden, sodass sich insgesamt je Hemisphäre zehn Kanäle ergaben. Ein Beispiel anhand Abbildung 6 soll das kurz verdeutlichen: Wenn Tx3 Licht gesendet hat, wurde dies von vier Receivern empfangen (Rx1a, 2a, 3a, 4a), also entstanden vier Kanäle, die für die Datenaufzeichnung genutzt wurden. Alle 2 x 10 Kanäle sind in Abbildung 6 dargestellt.

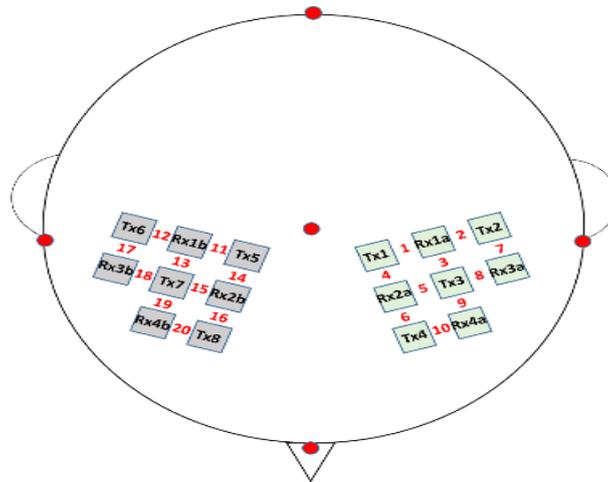


Abbildung 6 Betrachtung des Kopfes von oben mit aufliegenden L-förmigen Optodhaltern

Tx steht für Transmitter, *Rx* für Receiver, *Tx3* liegt dabei über *F3*, *Tx7* über *F4*, die roten Punkte markieren erneut *Nasion*, *Inion*, *Cz*, *A1* und *A2*, die roten Zahlen repräsentieren die 20 Kanäle.

Die OXYMON MK III-Aufzeichnungsgeräte waren ihrerseits mit einem Laptop verbunden. Auf diesem war die benötigte Software Oxysoft v.3.0 und „Presentation“ v.18.1 installiert. Der Laptop war außerdem mit dem Computermonitor, der Tastatur und einer kabellosen Maus verbunden. Der Aufbau der Gerätschaften ist in den Abbildung 4 und Abbildung 5 nachzuvollziehen. Alle benötigten Materialien können zudem den Tabelle 12 und Tabelle 13 im Anhang entnommen werden.

2.3.2 Visualisierung der Signale mittels Oxysoft

Bei Versuchsbeginn wurden für jeden Probanden in der Software Oxysoft v.3.0 eigene Dateien angelegt, eine oxyproj.-Datei, welche u. a. den DPF des jeweiligen Probanden, die Hertz-Zahl, mit welcher aufgezeichnet wurde, und weitere Angaben enthielt. Außerdem legte das Programm bei der eigentlichen Messung .oxy-Dateien an, welche die Rohdaten enthielten.

Nach erfolgter Anlage der Optodenhalter und der Optoden bei den Probanden wurde zunächst eine Testdatei angelegt. In einer Maske wurde der alterskorrigierte DPF, welcher nach der Formel $DPF = 4,99 + 0,067 * (\text{Alter}^{0,814})$ berechnet wurde (Duncan et al., 1996), eingegeben, s. Abbildung 7. Der Abstand zwischen den einzelnen Optoden war mit 3,5 cm voreingestellt und wurde nicht verändert. Des Weiteren wurde die Form der Optodenhalter (2 x 10 L-Form) ausgewählt.

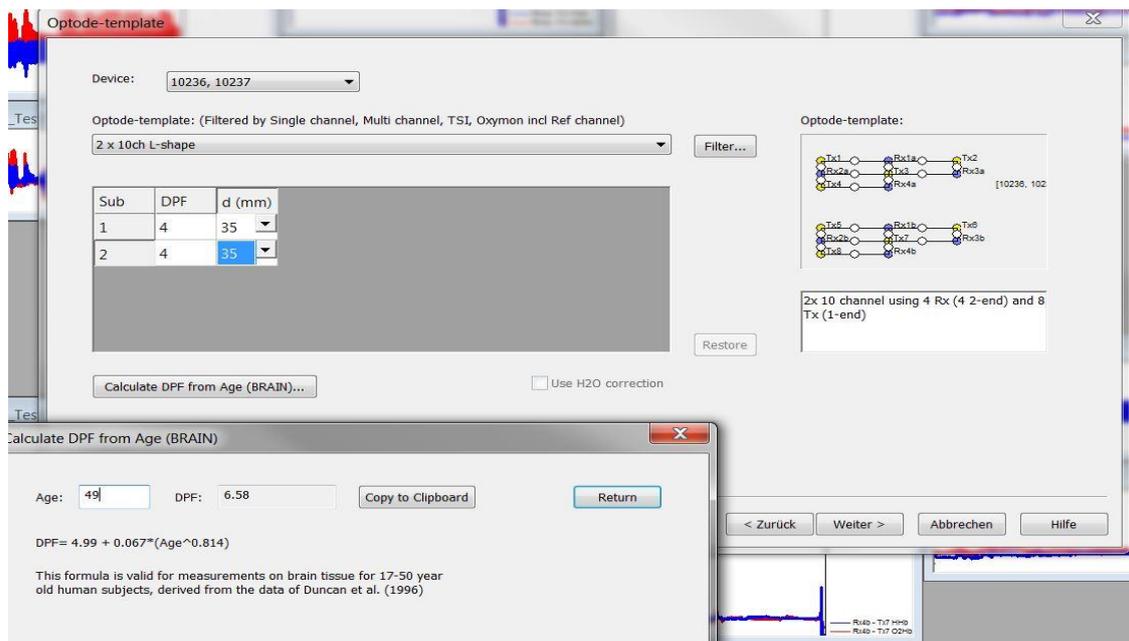


Abbildung 7 Maske in der Software Oxysoft v.3.0 der Fa. Artinis

Neuanlage eines Aufzeichnungsprojekts mit Eingabe des alterskorrigierten DPF's, des Abstands zwischen den Optoden und der Form des Optodenhalters.

Außerdem konnte die Abtastrate in Hertz (Hz [1/s]) eingestellt werden, s. Abbildung 8. In dieser Studie wurde stets mit 50 Hz gearbeitet.

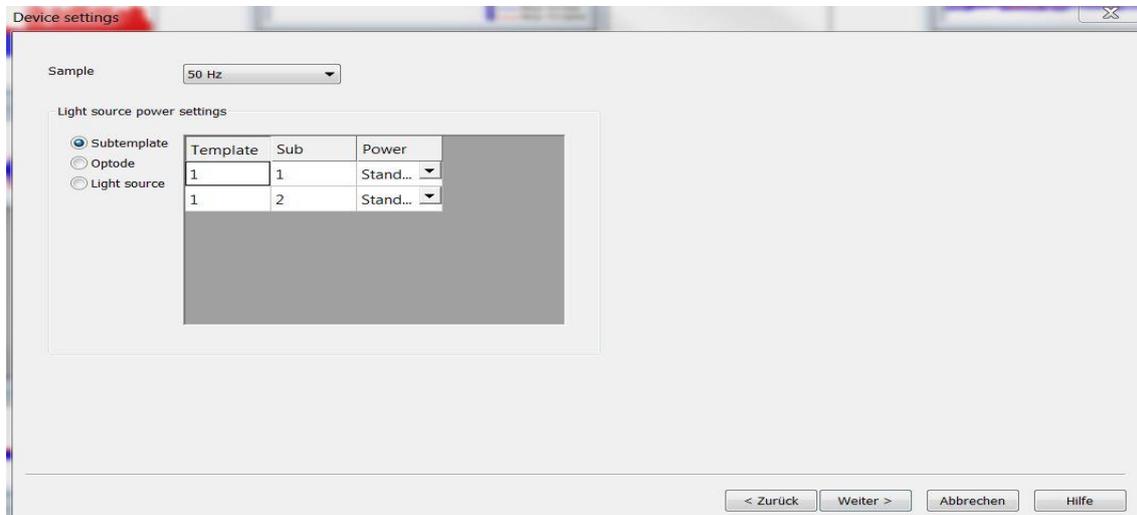


Abbildung 8 Maske in Oxysoft v.3.0 der Fa. Artinis

Eingabe Abtastrate in Hertz, in dieser Studie immer 50 Hz.

Sobald diese Vorbereitungen abgeschlossen waren, wurde die Lichtquelle am OXYMON MK III-Master in Betrieb genommen. Auf dem Laptop-Bildschirm öffnete sich nun ein Fenster in Oxysoft v.3.0, welches alle 20 Kanäle anhand von grünen und roten Punkten darstellte, wobei grüne Punkte ein gutes Lichtsignal anzeigten und rote Punkte auf ein schlechtes Signal hinwiesen. Grund für schlechte Signale waren zumeist Haare, die sich unter die Optoden geschoben haben. Zur Optimierung wurden die einzelnen Optoden manuell gelöst und die Haare zur Seite geschoben, sodass die Optoden anschließend einen direkten Kontakt zur Kopfhaut hatten. Zeigten alle Kanäle einen grünen Punkt, konnten im folgenden Schritt alle Signale der 20 Kanäle in einer Übersicht angezeigt werden, s. Abbildung 9.

Die roten „Linien“ repräsentieren den Konzentrationsverlauf von oxygeniertem Hämoglobin, die blauen von desoxygeniertem Hb.

Material und Methoden

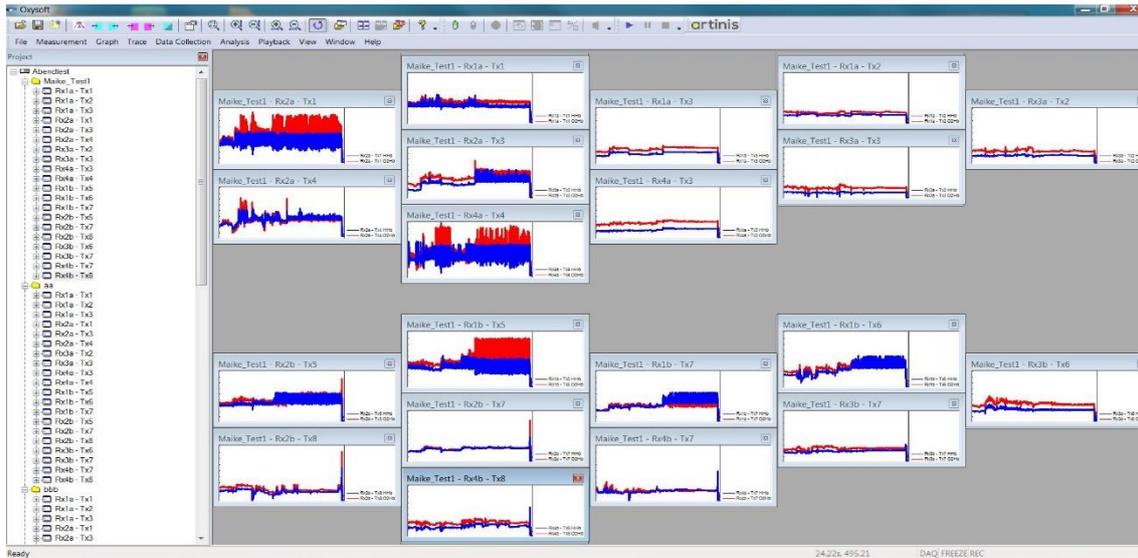


Abbildung 9 Maske in Oxysoft v.3.0, Anzeige aller 20 Kanäle in der Übersicht

Die rote Kurve zeigt die Konzentrationsveränderungen von oxygeniertem Hb im zeitlichen Verlauf an, die blaue Kurve den Verlauf von desoxygeniertem Hb.

Beispielhaft soll in Abbildung 10 ein einzelner Kanal in der Vergrößerung gezeigt werden. Es präsentiert sich eine zackige Kurve, welche geprägt ist durch sich wiederholende Spitzen. Diese Spitzen repräsentierten v. a. den physiologischen Herzschlag und waren ein Indikator dafür, dass Signale aus arteriellen Gefäßen abgeleitet wurden (Themelis et al., 2007). Dieses Phänomen ist einerseits ein Hinweis auf ein gutes Signal, andererseits handelte es sich um einen Störfaktor, der bei der späteren Datenverarbeitung durch spezielle Filter herausgerechnet wurde.

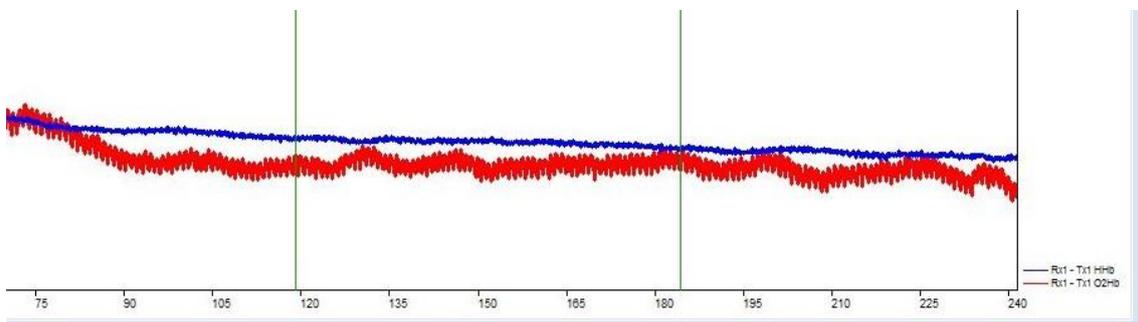


Abbildung 10 Darstellung eines Kanals in Oxysoft v.3.0

Die rote Kurve zeigt die Veränderungen im oxygenierten Hb im zeitlichen Verlauf an, die blaue Kurve den Verlauf von desoxygeniertem Hb.

Bei den anschließenden Messsequenzen wurden so bei eingeschalteter Lichtquelle alle 20 Kanäle über die jeweilige Zeit aufgezeichnet. Während der durchzuführenden „Go“-/„No-Go“-Aufgabe wurde jedes „Event“ (Event = ein dargebotenes Bild eines Nahrungsmittels) in Form eines Triggers von „Presentation“ v.18 an die fNIRS-Aufzeichnungsgeräte OXYMON MK III gesandt (s. Kapitel 3.4). Diese Trigger wurden dann in Oxysoft in einem separaten Fenster dargestellt. Eine komplette Sequenz, wie sie sich dann in Oxysoft zeigte, wurde in Abbildung 11 demonstriert.

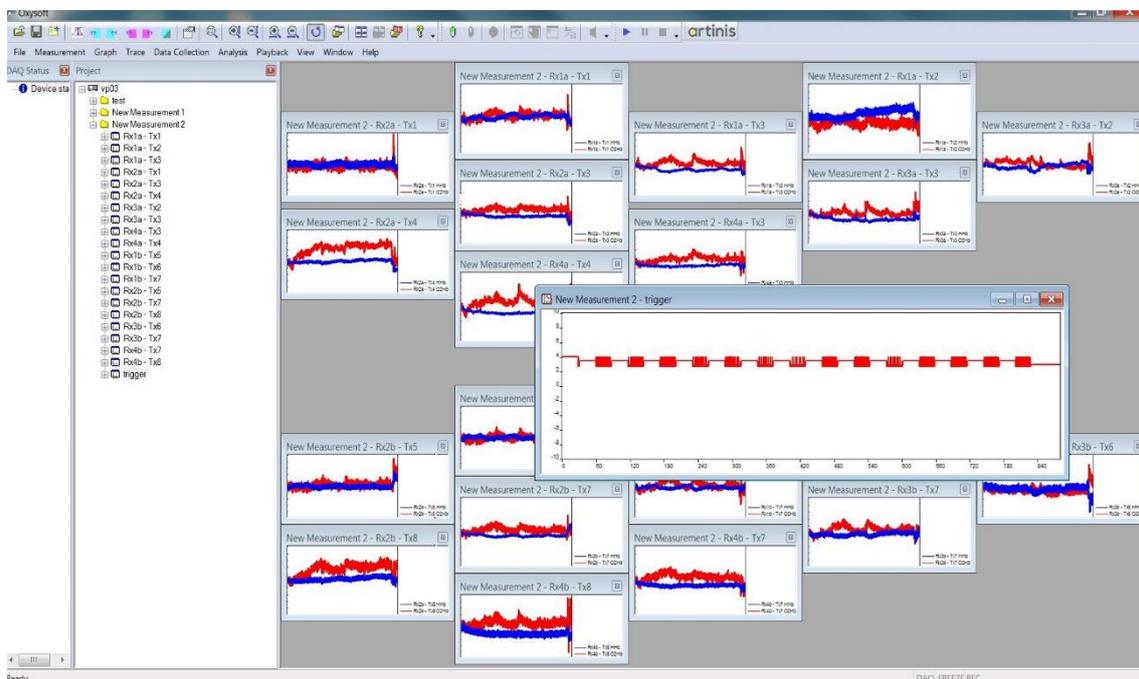


Abbildung 11 Darstellung einer kompletten Messsequenz in Oxysoft v.3.0

Die Aufzeichnung der 20 Kanäle ist sichtbar, zusätzlich sind die Trigger aller Events der 14 Blöcke der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe abgebildet.

2.4 „Go“-/„No-Go“-Aufgabe

Während der fNIRS-Aufzeichnung führten die Probanden eine „Go“-/„No-Go“-Aufgabe mit zwei unterschiedlichen Bedingungen („Gesund“ vs. „Ungesund“) aus. Bei dieser Aufgabe wurden den Probanden in einem Blockdesign die zuvor bewerteten Bilder von Nahrungsmitteln gezeigt. Dabei bestanden die zwei Messsequenzen aus jeweils 14 Blöcken mit einer Dauer von jeweils 14 Minuten, wobei alle Probanden der gleichen Anleitung folgten. Es gab je Messsequenz sechs reine „Go“-Blöcke, sechs „Go“-/„No-Go“-Blöcke und zwei Blöcke, die der Ablenkung dienten (Distraktionsblöcke). Ein Block setzte sich jeweils aus der Abfolge von 16 Bildern zusammen. Die „Go“-Blöcke bestanden ausschließlich aus Bildern der „Go“-Kategorie, drei „Go“-/„No-Go“-Blöcke aus zehn Bildern der „Go“-Kategorie und sechs Bildern der „No-Go“-Kategorie. Weitere drei „Go“-/„No-Go“-Blöcke setzten sich aus zwölf Bildern der „Go“-Kategorie und vier Bildern der „No-Go“-Kategorie zusammen. Einer der zwei Distraktionsblöcke bestand aus acht Bildern der „Go“-Kategorie und acht Bildern der „No-Go“-Kategorie. Der andere enthielt lediglich zwei Bilder aus der „No-Go“-Kategorie und dementsprechend 14 Bilder der „Go“-Kategorie.

Beim Auftreten eines „Go“-Events musste der Proband die Maustaste drücken, und zwar so schnell wie möglich. Bei der Abbildung eines „No-Go’s“ sollte nicht gedrückt werden. Vor jeder Messeinheit wurde den Probanden mitgeteilt, welche Nahrungsmittel „Go’s“ und welche Nahrungsmittel „No-Go’s“ sein sollten. Es wurde zufällig festgelegt, mit welcher Sequenz begonnen wurde, wobei beide Bedingungen jeweils nacheinander bearbeitet wurden. Bei der Bedingung „Gesund“ sollten die Probanden immer dann ihre Reaktion unterdrücken (kein Tastendruck), wenn etwas Ungesundes abgebildet war. Bei der Bedingung „Ungesund“ hingegen wurden die Probanden gebeten, nur dann auf einen Tastendruck zu verzichten, wenn sie auf den Bildern ein gesundes Nahrungsmittel sahen. Die Reihenfolge, in der die Blöcke auftraten, war unter allen Probanden pseudorandomisiert.

Zu Beginn jeder Sequenz waren alle Anweisungen noch einmal auf dem Computermonitor abgebildet. Die Probanden konnten per Tastendruck selbst die Aufgabe starten, sobald sie dafür bereit waren. Jetzt zeigte sich in der Mitte des

Bildschirms ein schwarzes Fixationskreuz für etwa 30 Sekunden (s). Fünf Sekunden bevor jeder Block startete, änderte sich die Farbe des Kreuzes von schwarz zu grün, sodass die Teilnehmer wussten, dass der nächste Block gleich folgen würde. Zwischen den einzelnen Blöcken gab es jeweils Pausen von 30 s, in denen das Fixationskreuz eingeblendet wurde. Innerhalb eines Blockes wurde jedes Bild für 600 ms gezeigt. Zwischen den einzelnen Bildern ergaben sich kurze, variable Pausen von 800-1200 ms, in denen abermals ein schwarzes Fixationskreuz zu sehen war. Zur Veranschaulichung der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe dient Abbildung 12.

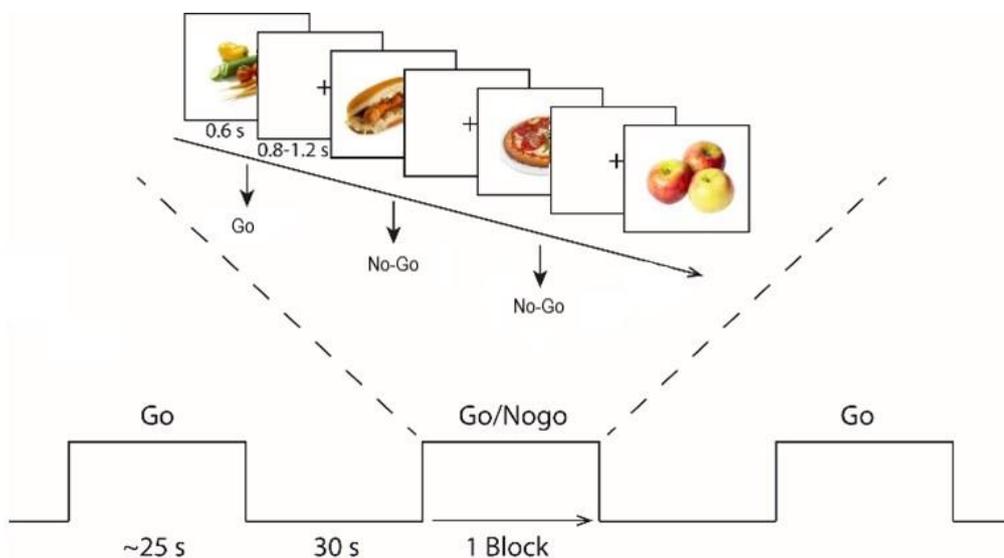


Abbildung 12 Beispielhafter Ablauf der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe

Im unteren Bildabschnitt ist der zeitliche Verlauf von drei Blöcken und den dazwischen liegenden, 30s dauernden Pausen dargestellt. Im oberen Teil des Bildes ist die exemplarische Abfolge von vier Bildern bei der Bedingung „Gesund“ dargestellt, d. h. Probanden sollten die linke Maustaste drücken, sobald ein gesundes Nahrungsmittel abgebildet wurde und sollten nicht drücken, wenn ein ungesundes Nahrungsmittel zu sehen war.

Material und Methoden

Während der kompletten Messungen wurden die fNIRS-Signale erfasst, welche nach Abschluss der Messungen weiterverarbeitet wurden, s. dazu Kapitel 2.5.1 und 2.5.2.

Des Weiteren wurden erneut für jeden Messabschnitt „logfiles“ in „Presentation“ angelegt, welche die Reaktionszeiten in Millisekunden (ms) enthielten. Außerdem wurden so fehlerhafte Reaktionen auf einen Stimulus erfasst.

Es wurde die Anzahl an „Commission Errors“, dt. Auftretensfehler, erfasst, welche dann auftraten, wenn Probanden beispielsweise bei ungesunden Nahrungsmitteln angehalten waren, nicht zu drücken („No-Go“), jedoch nach Betrachten eines solchen Bildes dennoch die Maustaste drückten („Go“).

Ebenfalls wurden „Omission Errors“, dt. Auslassungsfehler, erfasst. Diese traten immer dann auf, wenn Probanden angehalten waren bei einem bestimmten Nahrungsmittel zu drücken („Go“), dieses jedoch unterließen („No-Go“).

2.5 Datenauswertung

2.5.1 Vorverarbeitung der fNIRS-Daten

Die entstandenen Rohdaten der fNIRS-Aufzeichnung wurden mit der Software Oxysoft v.3.0 verarbeitet. Die Rohdaten enthielten Veränderungen der Lichtabsorption, Angaben zur Aufzeichnungszeit, zum DPF, zu den Wellenlängen jedes Kanals und zur Abtastrate. Mithilfe der modifizierten Lambert-Beer-Gleichung errechnete die Software so die Konzentrationsänderung von oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin, zur genauen physikalischen Erläuterung s. Kapitel 1.6.

Anschließend wurde das Fenster mit den Aufzeichnungen der Trigger, welche von „Presentation“ v.18 gesendet wurden, gemustert. Jedes Event („Go“ vs. „No-Go“) wurde dort einzeln repräsentiert. Da im späteren Verlauf die Blöcke untereinander vergleichen und ausgewertet werden sollten, musste jeder Block manuell im „Triggerfenster“ markiert werden. Dazu wurde in der Software Oxysoft v.3.0 die Funktion „Insert Event“ genutzt, wodurch der Beginn jedes Blocks hervorgehoben werden konnte. So wurde jeder „Go“-/„No-Go“-Block mit einer 1, jeder „Go“-Block mit einer 2 und die Distraktionsblöcke mit einer 3 markiert. Anschließend wurden die vorverarbeiteten Daten in je eine Excel-Datei für die Messsequenz „healthy-Go“ und eine für die Messsequenz „unhealthy-Go“ exportiert, um weitere Auswertungsschritte mit der Software Matlab (Version 14b, Fa. Mathworks) durchzuführen. Diese Excel-Dateien enthielten neben den oben genannten Rohdaten auch Werte zu Konzentrationsänderungen von O₂Hb und HHb und schließlich noch die nachträglichen eingefügten Events an den Zeitpunkten ihres Auftretens.

Die folgenden Schritte wurden mit Matlab durchgeführt. Es wurde ein bereits bestehendes und in der Anwendung praktikables, etabliertes Skript verwendet (Metzger et al., 2017, Sato et al., 2014, Vitorio et al., 2017, Haeussinger et al., 2014, Hudak et al., 2017). Dafür wurden die jeweiligen Excel-Dateien der Probanden aufgerufen und in das Skript integriert. Nun konnten die Daten auf verschiedene Art und Weisen gefiltert werden. Zunächst wurde ein Bandbreitenfilter

Material und Methoden

(Bandpass-Filter, 0,01-0,1 Hz) angewandt, sodass nur Signale aus diesem Frequenzbereich weiterverarbeitet wurden. So gelang es Störfaktoren, wie die physiologischen Herz- oder Atemaktionen, zu eliminieren. Anschließend wurden alle Kanäle in einem separaten Fenster überprüft, s. Abbildung 13. Kam es zu Bewegungsartefakten, welche sich in hochamplitudigen Ausschlägen (über 1 mmol*mm) der Kurven von O₂Hb und HHb zeigten, wurden die betroffenen Blöcke entfernt und von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen.

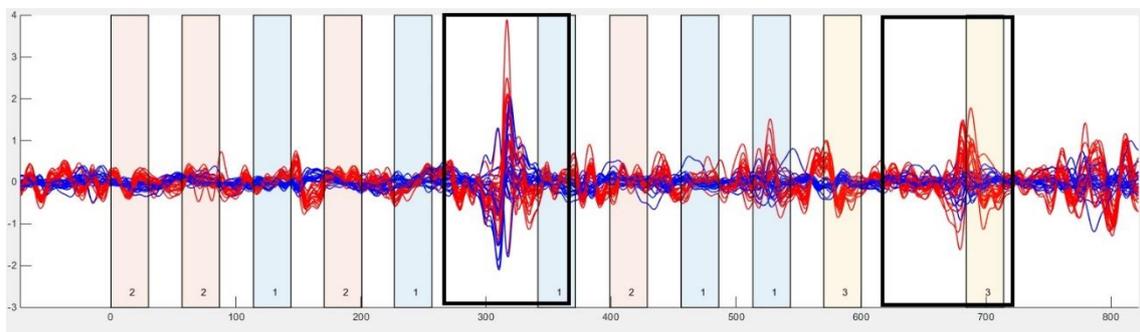


Abbildung 13 Darstellung eines Kanals in einem separaten Fenster in Matlab, v.14b

Bei den mit 1 markierten Abschnitten handelte es sich um „Go“-/„No-Go“-Blöcke, bei den mit 2 markierten Abschnitten um reine „Go“-Blöcke und die mit 3 markierten Abschnitte symbolisierten Distraktionsblöcke. Die schwarz markierten Bereiche zeigen hochamplitudige Ausschläge, die als Artefakte zu werten waren. Die dazugehörigen Blöcke wurden vor der weiteren Bearbeitung entfernt.

Waren hingegen nur einzelne Kanäle von Artefakten betroffen, so wie es bei den am weitesten lateral liegenden Kanälen vorkam, konnten diese mit einer weiteren Funktion anhand der Daten der drei umliegenden Kanäle interpoliert, d. h. geglättet, werden.

2.5.2 Eventbezogene Weiterverarbeitung der fNIRS-Daten

Nachdem die Vorverarbeitung abgeschlossen war, wurden separat voneinander die Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ betrachtet. Um ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis zu erhalten, wurde der Durchschnitt aller „Go“-/„No-Go“-Blöcke und aller „Go“-Blöcke einer Bedingung gebildet. Die Distraktionsblöcke wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Um den Durchschnitt der Blöcke der verbleibenden zwei Kategorien („Go“-/„No-Go“ vs. „Go“) zu erstellen, wurde jeweils ein Intervall von 50 s betrachtet. Dabei wurden die 10 s vor Beginn eines Events/Blocks als einen Bereich, der als Ausgangswert (Baseline) dienen sollte genutzt. Die folgenden 30 s (Dauer eines Blocks), in denen Bilder präsentiert wurden, und die 10 s danach, die in die anschließende Pause fielen, wurden ebenfalls in der Funktion mitberücksichtigt.

Vor allem die Signaländerungen der Lichtabsorption bzw. Konzentrationsänderung von O₂Hb und HHb innerhalb der Blöcke waren von besonderer Bedeutung und wurden mit der Baseline verglichen. Hierbei wurden die Verfahren der linearen Regression und der Methode der kleinsten Quadrate für die Berechnungen verwendet, um für O₂Hb und HHb nach Bildung des Durchschnitts über alle Blöcke einer Kategorie und einer Bedingung einen Kurvenverlauf zu erhalten, der die Messwerte so optimal wie möglich repräsentierte.

Die aus dem Regressionsmodell resultierenden Parameter (Beta-Werte) wurden statistisch weiter mit der Software SPSS Statistics 24 (Fa. IBM) ausgewertet, wobei jeder einzelne Kanal für sich betrachtet wurde. Genaueres dazu erfolgt in Kapitel 2.6.

In der weiteren Bearbeitung wurden ausschließlich Konzentrationsänderungen von O₂Hb betrachtet, da gezeigt werden konnte, dass Unterschiede im zerebralen Blutfluss (cerebral blood flow, CBF) hauptsächlich durch veränderte Konzentrationen von oxygeniertem Hämoglobin dargestellt werden können (Hoshi et al., 2001). Obwohl O₂Hb und auch HHb Informationen über kortikale Aktivität liefern, gilt das Signal für O₂Hb als deutlich stabiler und genauer (Plichta et al., 2006, Herrmann et al., 2005).

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung aller erworbenen Daten erfolgte mit der Software SPSS Statistics 24 (Fa. IBM).

Wie oben beschrieben, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Vergleich zwischen gesunden Kontrollprobanden und Patienten mit einer Binge-Eating-Störung (vor der „IMPULS“-Intervention, Zeitpunkt T0).

Mithilfe von einfaktoriellen Varianzanalysen in Kombination mit t-Tests bei unabhängigen Stichproben wurden zunächst Basischarakteristika wie Geschlecht, Alter, BMI und gewonnene Daten aus den erhobenen Fragebögen analysiert. Anschließend wurden die Verhaltensdaten wie Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeit untersucht und zwischen den beiden oben genannten Gruppen verglichen. Dabei wurde zwischen zwei Arten von Fehlern unterschieden, zum einen das fehlerhafte Drücken der linken Maustaste während eines „No-Go“-Events (Auftrittensfehler = „Commission Error“), zum anderen das Ausbleiben des Tastendrucks während eines „Go“-Events (Auslassungsfehler = „Omission Error“). Dabei errechnet sich die mittlere Fehlerhäufigkeit für Auftretensfehler aus der Summe aller Auftretensfehler geteilt durch alle „No-Go“-Events. Die mittlere Fehlerhäufigkeit für Auslassungsfehler berechnet sich aus der Summe aller Auslassungsfehler geteilt durch die Summe aller „Go“-Events.

Bei der statistischen Auswertung der fNIRS-Daten wurde jeder einzelne Kanal, welcher den DLPFC repräsentiert, betrachtet. Es erfolgten multifaktorielle Varianzanalysen (ANOVAs) bzgl. signifikanter Unterschiede innerhalb einer Gruppe = Innersubjektfaktoren (Bedingungen und Block), bzw. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen = Intersubjektfaktoren (Kontrollprobanden versus Probanden mit BES). Für den Faktor Bedingung wurde zwischen „Gesund“ versus „Ungesund“ und für den Faktor Block zwischen „No-Go“ versus „Go“ unterschieden. Um zu untersuchen, welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden, wurden für die weitere post-hoc-Analyse verbundene t-Tests verwendet. Wie bereits in anderen fNIRS-Publikationen beschrieben, z. B. Schecklmann (2014), wurde das Signifikanzniveau bei multiplen Messungen überprüft, um benachbarte Kanäle korrekt darzustellen. Hierzu wurde eine Alpha-Korrektur nach

Dubey-Armitage-Parmar (DAP) durchgeführt (Sankoh et al., 1997), welche für weitere Berechnungen ein Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ ergab.

Antwortverhalten im Sinne von inhibitorischen Verhalten wurden mittels Bildung von Kontrasten berechnet. Dazu wurden alle Blöcke der „Go“-Kategorie von den Blöcken der „No-Go“-Kategorie („No-Go“ minus „Go“) subtrahiert und Vergleiche zwischen den Gruppen und den beiden Bedingungen gezogen. Hierbei wurden für die Analyse abermals t-Tests bei unabhängigen Stichproben genutzt.

Abschließend wurden t-Test-basierte topographische Karten erstellt, um Effekte auf der Gehirnoberfläche grafisch darzustellen.

3 Ergebnisse

3.1 Probandencharakteristika

Alle Charakteristika zu den Probanden zum Zeitpunkt T0 können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3 Probandencharakteristika: Abgebildet sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen; p-Werte basieren auf t-Tests bei unabhängigen Stichproben bzw. bei * auf Basis eines Chi-Quadrat-Tests. Signifikante Werte wurden hellgrau hinterlegt.

	Gesunde Kontrollprobanden	Patienten mit Binge-Eating-Störung (BES)	p-Wert
Geschlecht (w/m)	7/5	20/4	*0,126
Alter (Jahren)	39,2 ± 12,0	42,5 ± 12,7	0,463
BMI (kg/m²)	23,7 ± 1,6	39,3 ± 9,7	<0,001
Hunger vor der Messung (VAS)	2,2 ± 2,3	3,6 ± 2,8	0,150
Hunger nach der Messung (VAS)	4,68 ± 3,05	3,2 ± 2,87	0,184
BIS-15-Score Total		36,38 ± 7,35	

Zu erkennen war, dass bei Patienten mit einer BES deutlich mehr Frauen an der Studie teilnahmen, was sich durch die erhöhte Prävalenz für das weibliche Geschlecht oder auch eine möglicherweise erhöhte Bereitschaft zur Teilnahme an einer Verhaltensstudie erklären lässt. Zwischen der BES und der Kontrollgruppe wurde kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter der Probanden festgestellt. Bei der Betrachtung des BMIs der Probanden war ersichtlich, dass die Probanden mit einer BES einen signifikant höheren BMI aufwiesen als die gesunden Kontrollprobanden. Während die gesunden Kontrollprobanden per Definition alle normalgewichtig (BMI 18-24,9 kg/m²) bis leicht übergewichtig (25-29,9 kg/m²) waren, litten von den 24 Probanden mit einer BES 20 an einer Adipositas (BMI>30 kg/m²). Die anderen vier waren normal- bis leicht übergewichtig. Das deckt sich mit der Aussage aus der Einleitung, Kapitel 1.1, dass Patienten mit einer BES häufig auch übergewichtig sind. Es wurden alle Probanden vor und

nach den fNIRS-Messungen bzgl. ihres Hunger-Befindens befragt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kontrollprobanden vs. BES) festgestellt, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass alle Probanden gebeten wurden, ein „normales“ Frühstück vor den Messungen einzunehmen. Von den verschiedenen Fragebögen, welche die Probanden im Rahmen der „IMPULS“-Studie ausfüllten, war in dieser Arbeit v. a. für den BIS-Score von Interesse, welcher ein subjektives Maß an Impulsivität erfasst. Im Kapitel 3.2 „Verhaltensdaten aus der „Go“-/“No-Go“-Aufgabe“ soll untersucht werden, ob die Höhe des BIS-Scores möglicherweise mit dem objektiv erfassten inhibitorischen Verhalten korreliert. Die BIS-Scores erfassten wir nur bei Probanden mit einer BES.

3.2 Verhaltensdaten aus der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe

Für die Analyse wurden die Reaktionszeiten für alle „Go“-Blöcke in ms, sowie die Auftretensfehler und Auslassungsfehler jeweils in Prozent erfasst und Vergleiche zwischen den Gruppen der gesunden Kontrollprobanden und der Probanden mit einer BES gezogen, wobei die Vergleiche jeweils für die Bedingungen „Ungesund“ (kein Tastendruck bei gesunden Nahrungsmitteln gewünscht) und „Gesund“ (keine Reaktion bei ungesunden Nahrungsmitteln gewünscht) angestellt wurden (s. Tabelle 4).

Tabelle 4 Ein Vergleich von Verhaltensdaten zwischen den Gruppen gesunde Kontrollprobanden und BES bei Betrachtung der zwei Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“. Abgebildet sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen; p-Werte basieren auf t-Tests bei unabhängigen Stichproben.

Bedingung/Gruppe	Kontrollprobanden	BES	p-Wert
Reaktionszeit in ms für „Go“-Blöcke			
„Ungesund“	442,8 ± 60,6	457,2 ± 66,8	0,535
„Gesund“	410,4 ± 37,6	438,9 ± 68,7	0,189
Auftretensfehler in %			
„Ungesund“	14,2 ± 5,4	12,8 ± 8,8	0,929
„Gesund“	23,3 ± 12,2	23,6 ± 8,8	0,616
Auslassungsfehler in %			
„Ungesund“	2,6 ± 6,9	2,0 ± 2,0	0,668
„Gesund“	1,4 ± 1,6	2,0 ± 2,5	0,434

Es konnten für keine der beiden Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“ signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der Kontrollprobanden und der BES bzgl. der Verhaltensdaten Reaktionszeit, Auftretensfehler oder Auslassungsfehler festgestellt werden.

Im zweiten Schritt wurde untersucht, ob es beim Betrachten der Verhaltensdaten Unterschiede zwischen den Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“ geben würde, wenn jede Gruppe separat für sich betrachtet wird (s. Tabelle 5).

Tabelle 5 Ein Vergleich von Verhaltensdaten zwischen den Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“ bei Betrachtung der zwei Gruppen Kontrollprobanden und BES. Abgebildet sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen; p-Werte basieren auf t-Tests bei unabhängigen Stichproben. Signifikante p-Werte wurden hellgrau hinterlegt.

Gruppe/Bedingung	„Ungesund“	„Gesund“	p-Wert
Reaktionszeit in ms für „Go“-Blöcke			
Kontrollprobanden	442,8±60,6	410,4±37,6	0,023
BES	457,2±66,8	438,9±68,7	<0,001
Auftretensfehler in %			
Kontrollprobanden	23,3±12,2	14,2±5,4	0,006
BES	23,6±8,8	12,8±8,8	<0,001
Auslassungsfehler in %			
Kontrollprobanden	2,6±6,9	1,4±1,6	0,579
BES	2,0±2,0	2,0±2,5	0,905

Für die Reaktionszeiten konnten sowohl für die Gruppe der Kontrollprobanden als auch der Gruppe der BES signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen „Ungesund“ und „Gesund“ ausgemacht werden. Es zeigte sich, dass die Reaktionszeit für „Go“-Blöcke für die Bedingung „Gesund“ signifikant kürzer war als für die Bedingung „Ungesund“. Des Weiteren machten sowohl die Kontrollprobanden als auch die Probanden mit BES signifikant mehr Auftretensfehler in der Bedingung „Ungesund“ verglichen mit der Bedingung „Gesund“. Es konnten keine signifikanten Unterschiede beim Auftreten von Auslassungsfehlern festgestellt werden.

Ergebnisse

Im Folgenden wurde betrachtet, ob bestimmte Probandencharakteristika Einfluss auf die Verhaltensdaten haben, s. Tabelle 6.

Tabelle 6 Korrelation von Probandencharakteristika beider Gruppen (Alter, BMI) mit Verhaltensdaten wie Reaktionszeit, Auftretensfehler und Auslassungsfehler. Abgebildet sind die Korrelationskoeffizienten (*r*-Werte) und *p*-Werte, welche zeigten, ob sich die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null unterscheiden ($p < 0,05$ = signifikant).

	Bedingung	Alter	BMI
Reaktionszeit	„Gesund“	$r = 0,592$ $p < 0,01$	n. s.
	„Ungesund“	$r = 0,570$ $p < 0,01$	n. s.
Auftretensfehler	„Gesund“	n. s.	n. s.
	„Ungesund“	n. s.	n. s.
Auslassungsfehler	„Gesund“	n. s.	n. s.
	„Ungesund“	n. s.	n. s.

Es war deutlich zu erkennen, dass es eine positive Korrelation zwischen Alter und Reaktionszeiten gibt. Je älter die Probanden waren, desto länger war die Reaktionszeit. Zur besseren beispielhaften Veranschaulichung s. Abbildung 14.

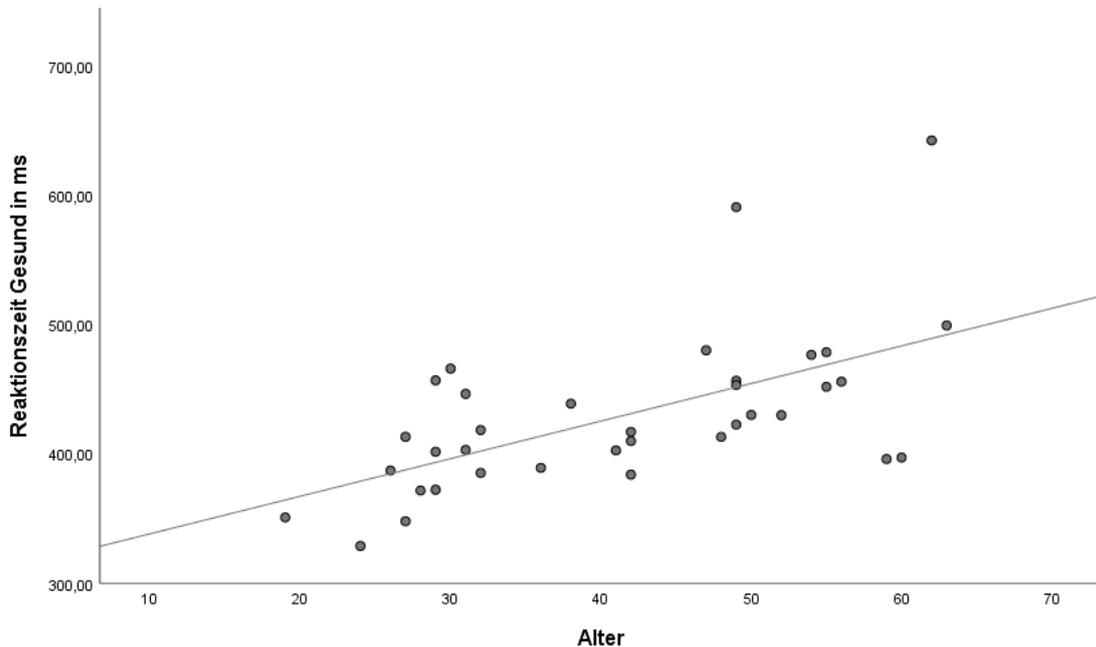


Abbildung 14 Korrelation zwischen Reaktionszeit bei der Bedingung „Gesund“ und Alter der Probanden

Auf der x-Achse ist das Alter in Jahren, auf der y-Achse die Reaktionszeit für die Bedingung „Gesund“ in ms aufgetragen, r -Wert=0,592, p -Wert=<0,01.

Es konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Alter der Probanden und dem Auftreten von Fehlern (Auftrittsfehler, Auslassungsfehler) festgestellt werden. Gleichzeitig konnte keine signifikante Wechselbeziehung zwischen BMI und Verhaltensdaten ausgemacht werden. Auch weitere Probandencharakteristika wie Geschlecht oder das individuelle Hungergefühl, welches vor und nach der fNIRS-Messung erfasst wurde, schienen keinen signifikanten Effekt auf die Verhaltensdaten Reaktionszeit, Auftretens- und Auslassungsfehler zu haben.

Ergebnisse

Separat wurde untersucht, inwieweit die Summe des BIS-15-Total einen Einfluss auf die Verhaltensdaten (Reaktionszeit, Auftretens- und Auslassungsfehler) bei Probanden mit einer BES hatten, s. Tabelle 7.

Tabelle 7 Korrelation von Probandencharakteristika bei Patienten mit einer BES (BIS-15-Summe Total) mit Verhaltensdaten wie Reaktionszeit, Auftretensfehler und Auslassungsfehler. Abgebildet sind die Korrelationskoeffizienten (r-Werte) und p-Werte, welche zeigten, ob sich die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null unterscheiden ($p < 0,05$ = signifikant)

	Bedingung	BIS-15-Summe Total
Reaktionszeit	„Gesund“	r = -0,435 p = 0,034
	„Ungesund“	r = -0,408 p = 0,048
Auftretensfehler	„Gesund“	r = 0,419 p = 0,041
	„Ungesund“	n. s.
Auslassungsfehler	„Gesund“	r = -0,486 p = 0,016
	„Ungesund“	n. s.

Zwischen der Summe des BIS-Scores und der Reaktionszeit bestand für beide Bedingungen eine signifikante, negative Korrelation. Je mehr Punkte die Patienten mit einer BES im BIS-Score erzielten, desto langsamer war deren Reaktionszeit. Des Weiteren gab es für die Bedingung „Gesund“ eine positive Korrelation zwischen Auftretensfehlern und der Summe des BIS-Scores, und eine negative Korrelation zwischen Auslassungsfehlern und der Summe des BIS-Scores.

3.3 fNIRS-Daten – Effekte und Interaktionen

In die Auswertung der gewonnenen fNIRS-Daten wurden lediglich die Kanäle 3, 5, 8, 9 und 13, 15, 18, 19 einbezogen, da diese am besten den linken und rechten dorsolateralen Präfrontalkortex repräsentieren. Diese Kanäle wurden in der Folge als „Kanäle von Interesse“ bezeichnet. Nach Durchführung von multifaktoriellen Varianzanalyse mit 34 Freiheitsgraden konnten signifikante Haupteffekte für einzelne Kanäle für den Innersubjektfaktor „Block“ („Go“ vs. „No-Go“) gezeigt werden. Für den Innersubjektfaktor „Bedingung“ („Gesund“ vs. „Ungesund“) und auch für den Intersubjektfaktor „Gruppe“ („Gesunde Kontrollprobanden“ vs. „Patienten mit einer BES“) wurden keine signifikanten Haupteffekte gefunden, allerdings zeigten sich durchaus signifikante Interaktionen zwischen den Faktoren Block vs. Bedingung für alle oben genannten Kanäle. Für die rechtshemisphärischen Kanäle 15 und 19 konnte eine Interaktion zwischen „Gruppe“, „Block“ und „Bedingung“ dargestellt werden, s. dazu Tabelle 8.

Tabelle 8 Haupteffekte und Interaktionen aller Kanäle, die den DLPFC repräsentieren. Abgebildet sind sämtliche Haupteffekte und Interaktionen für alle Kanäle von Interesse mit Betrachtung der Innersubjektfaktoren Block und Bedingung und dem Intersubjektfaktor Gruppe. Angegeben sind jeweils die F-Werte mit den dazugehörigen p-Werten, wenn ein signifikanter Unterschied vorlag, wobei p-Werte $\leq 0,05$ nach Dubey-Armitage-Parmar-Korrektur als signifikant angesehen wurden, df gibt die entsprechenden Freiheitsgrade an.

Kanäle	Haupteffekt (df=1,34)		Interaktion (df=1,34)	
	Bedingung	Block	Block * Bedingung	Gruppe * Block * Bedingung
Kanal 3	n. s.	n. s.	F = 16,7 p<0,001	n. s.
Kanal 5	n. s.	n. s.	F = 18,0 p<0,001	n. s.
Kanal 8	n. s.	n. s.	F = 13,5 p=0,001	n. s.
Kanal 9	n. s.	n. s.	F = 18,5 p<0,001	n. s.
Kanal 13	n. s.	F = 6,05 p=0,019	F = 12,5 p=0,001	n. s.
Kanal 15	n. s.	n. s.	F = 11,9 p=0,001	F = 4,89 p=0,034

Ergebnisse

Kanal 18	n. s.	n. s.	F=9,4 p=0,004	n. s.
Kanal 19	n. s.	F=6,2 p=0,017	F=16,7 p<0,001	F=6,8 p=0,013

Im weiteren Verlauf wurde mittels gepaarter t-Tests untersucht, inwieweit sich die fNIRS-Daten im Rahmen der jeweiligen Bedingungen voneinander unterscheiden, siehe dazu Tabelle 9.

Tabelle 9 Post-hoc-t-Tests. *Abgebildet sind alle Kanäle von Interesse. Es wurden jeweils für die beiden Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ gepaarte t-Tests durchgeführt, bei denen die Mittelwerte der Blöcke „No-Go“ vs. „Go“ verglichen wurden. Das Gleiche erfolgte auch für die jeweiligen Blöcke „Go“ und „No-Go“, wobei hier die Mittelwerte der Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ miteinander verglichen wurden. P-Werte $\leq 0,05$ wurden nach Dubey-Armitage-Parmar-Korrektur als signifikant angesehen.*

Kanäle	Bedingung „Gesund“: „No-Go“ vs. „Go“	Bedingung „Ungesund“: „No-Go“ vs. „Go“	Block „Go“: „Gesund“ vs. „Ungesund“	Block: „No-Go“ „Gesund“ vs. „Ungesund“
Kanal 3	T=3,7 p=0,001	n. s.	T=-2,8; p=0,008	n. s.
Kanal 5	T=3,1 p=0,003	n. s.	T=-2,7; p=0,008	n. s.
Kanal 8	T=2,5; p=0,016	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 9	T=3,5; p=0,001	n. s.	T=-3,9; p<0,001	n. s.
Kanal 13	T=3,6; p=0,001	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 15	T=2,9; p=0,005	n. s.	T=-2,6; p=0,012	n. s.
Kanal 18	n. s.	T=-2,8; p=0,008	T=-2,8; p=0,008	n. s.
Kanal 19	T=3,6; p=0,001	n. s.	T=-2,8; p=0,007	n. s.

Es fiel auf, dass für die Bedingung „Gesund“ im Mittel mehr Aktivierung im Sinne eines Anstiegs von O₂Hb in den „No-Go“-Blöcken stattfand als in den „Go“-Blöcken. Dies wurde in den meisten Kanälen beobachtet. Zur besseren Veranschaulichung s. Abbildung 15. Bezüglich der Aktivierung für die Bedingung „Ungesund“

gab es lediglich im Kanal 18 signifikante Unterschiede zwischen „Go“- und „No-Go“-Blöcken, wobei hier das O₂Hb eher abfiel.



Abbildung 15 Effekt von „No-Go“ versus „Go“ bei Bedingung „Gesund“

Abgebildet sind die Kanäle von Interesse in Projektion auf einen menschlichen Schädel, wobei ein bihemisphärischer Anstieg von O₂Hb in den „No-Go“- versus „Go“-Blöcken für die Bedingung „Gesund“ gezeigt werden konnte.

Bei der Einzelbetrachtung der Blöcke wurde festgestellt, dass bei den „Go“-Blöcken signifikant mehr Aktivierung für die Bedingung „Ungesund“ als für die Bedingung „Gesund“ auftrat. Im Gegensatz dazu ergaben sich bei den „No-Go“-Blöcken keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“.

3.4 Kontrastanalysen „No-Go“ minus „Go“

Im Folgenden wurde betrachtet, inwieweit es signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ gab, wenn die Betawerte von O2Hb der „Go“-Blöcke von den „No-Go“-Blöcken subtrahiert wurden, was als Maß für inhibitorische Kontrolle gewertet wurde, s. Tabelle 10.

Tabelle 10 Kontrastanalyse – Vergleich zwischen den Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“. Abgebildet sind alle Kanäle von Interesse. Es wurden jeweils die Beta-werte (O2Hb) der Differenz aus „No-Go“ minus „Go“ betrachtet und die Mittelwerte für die Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ kanalweise mittels gepaarter t-Tests verglichen, wobei in Spalte 2 alle Probanden abgebildet sind, in Spalte 3 nur die Kontrollprobanden und in Spalte 4 nur die BES. p-Werte $\leq 0,05$ wurden als signifikant angesehen.

Kanäle	Kontrast „No-Go“ minus „Go“ bei „Gesund“ vs. „Ungesund“, alle Probanden	Kontrast „No-Go“ minus „Go“ bei „Gesund“ vs. „Ungesund“, nur Kontrollprobanden	Kontrast „No-Go“ minus „Go“ bei „Gesund“ vs. „Ungesund“, nur BES
Kanal 3	T=3,8 p=0,001	T=3,3 p=0,007	T=2,3 p=0,028
Kanal 5	T=3,9 p<0,001	T=3,9 p=0,003	T=2,3 p=0,031
Kanal 8	T=3,2 p=0,003	T=3,3 p=0,007	n. s.
Kanal 9	T=4,0 p<0,001	T=3,0 p=0,013	T=2,7 p=0,011
Kanal 13	T=2,8 p=0,009	T=3,3 p=0,007	n. s.
Kanal 15	T=2,7 p=0,01	T=2,7 p=0,019	n. s.
Kanal 18	T=3,2 p=0,003	T=2,2 p=0,054	T=2,3 p=0,028
Kanal 19	T=3,2 p=0,003	T=3,4 p=0,006	n. s.

Wurden alle Probanden im Kollektiv betrachtet, wurde anhand der analysierten Daten deutlich, dass bei der Bedingung „Gesund“ signifikant mehr Aktivierung stattgefunden hatte als bei der Bedingung „Ungesund“. Wurden lediglich die gesunden Kontrollprobanden untersucht, so bestätigte sich dieses Ergebnis, wobei

Kanal 18 nur näherungsweise signifikante Unterschiede zwischen den zwei Bedingungen aufwies. Anders sah es bei der Gruppe der BES aus, bei welcher lediglich in den Kanälen 3, 5, 9 und 18 signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen „Gesund“ versus „Ungesund“ festgestellt wurden. Aber auch hier zeigte sich im Trend deutlich mehr Aktivierung in dem Zeitraum, in welchem die Probanden gebeten wurden bei gesunden Nahrungsmitteln die Maustaste zu drücken (Bedingung „Gesund“).

Aufgrund der gerade beschriebenen Differenzen zwischen den beiden Gruppen, wurde anschließend untersucht, ob es signifikante Unterschiede in der Aktivierung zwischen den beiden Gruppen (Kontrollprobanden vs. BES) gab, s. Tabelle 11. Hier zeigte sich, dass die Gruppe der Kontrollprobanden in den rechtshemisphärischen Kanälen 13, 15 und 19 signifikant mehr Aktivierung zeigte als die Gruppe der BES, s. Abbildung 16 und Abbildung 17. Dies konnte für die linkshemisphärischen Ableitungen nicht gezeigt werden. Für die Bedingung „Ungesund“ wurden in keinem Kanal signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gefunden.

Tabelle 11 Kontrastanalyse– Vergleich zwischen den Gruppen der Kontrollprobanden und der BES. *Abgebildet sind alle Kanäle von Interesse. Es wurden jeweils die Kontraste „No-Go“ minus „Go“ betrachtet und die Mittelwerte beider Gruppen kanalweise mittels t-Tests bei unabhängigen Stichproben verglichen, wobei in Spalte 1 die Bedingung „Gesund“ abgebildet ist, in Spalte 2 die Bedingung „Ungesund“. P-Werte $\leq 0,05$ wurden als signifikant angesehen.*

Kanäle	Kontrast „No-Go“ minus „Go“ bei Kontrollprobanden vs. BES, Bedingung „Gesund“	Kontrast „No-Go“ minus „Go“ bei Kontrollprobanden vs. BES, Bedingung „Ungesund“
Kanal 3	n. s.	n. s.
Kanal 5	n. s.	n. s.
Kanal 8	n. s.	n. s.
Kanal 9	n. s.	n. s.
Kanal 13	T=2,1 p=0,042	n. s.
Kanal 15	T=2,1 p=0,039	n. s.
Kanal 18	n. s.	n. s.
Kanal 19	T=2,1 p=0,042	n. s.

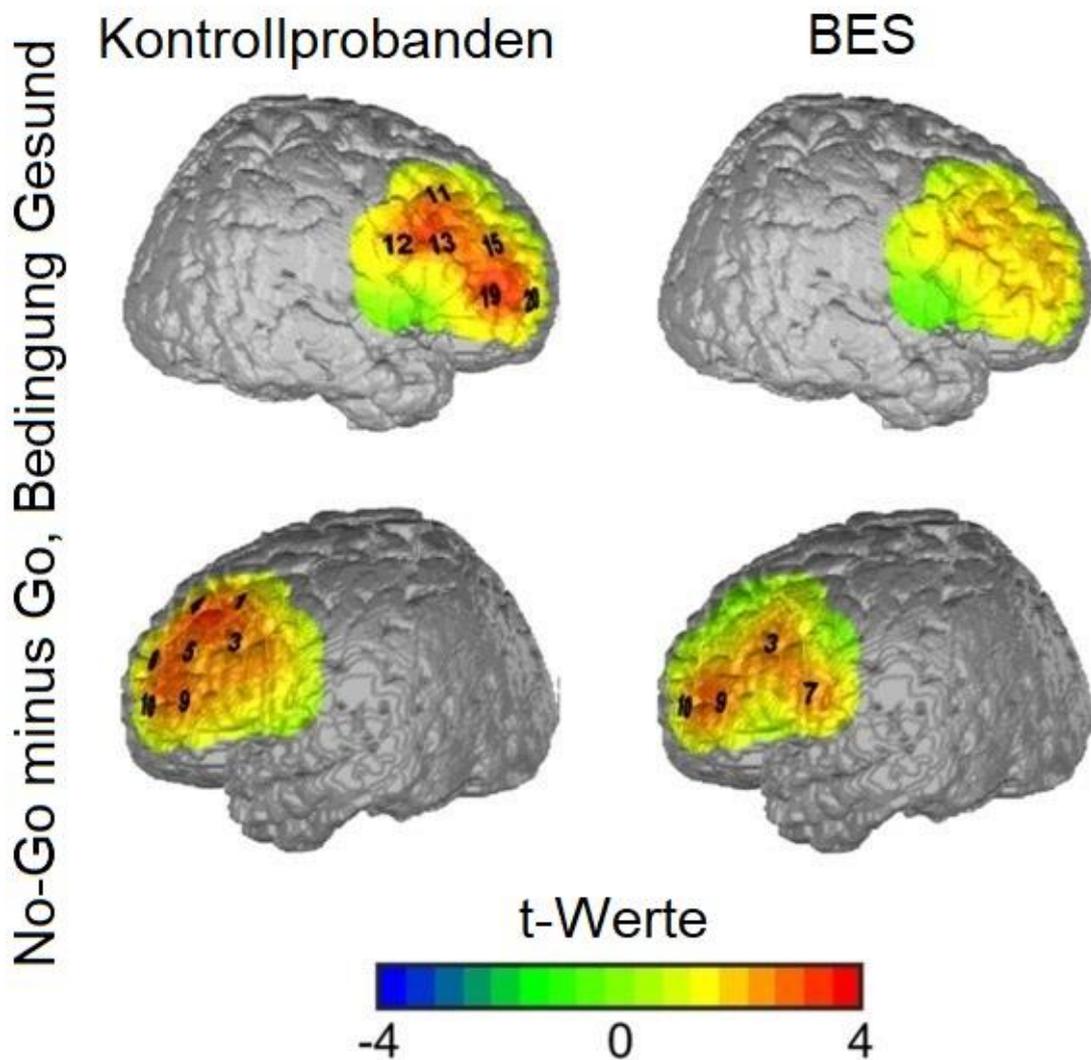


Abbildung 16 Graphische Darstellung der inhibitorischen Kontrolle

Die Kanäle von Interesse wurden auf die Gehirnoberflächen projiziert. Oben ist jeweils die rechte Hemisphäre abgebildet, unten die linke. Links ist die Gruppe der gesunden Kontrollprobanden dargestellt, rechts die Gruppe der BES. Die Farben repräsentieren t-Werte und sind gleich zur Änderung von oxygeniertem Hb, nachdem alle „Go“-Blöcke von den „No-Go“-Blöcken abgezogen wurden. Hierbei hat die Gruppe der Kontrollprobanden rechtshemisphärisch signifikant größere t-Werte, d. h. mehr Aktivierung als die Gruppe der BES in der Bedingung „Gesund“.

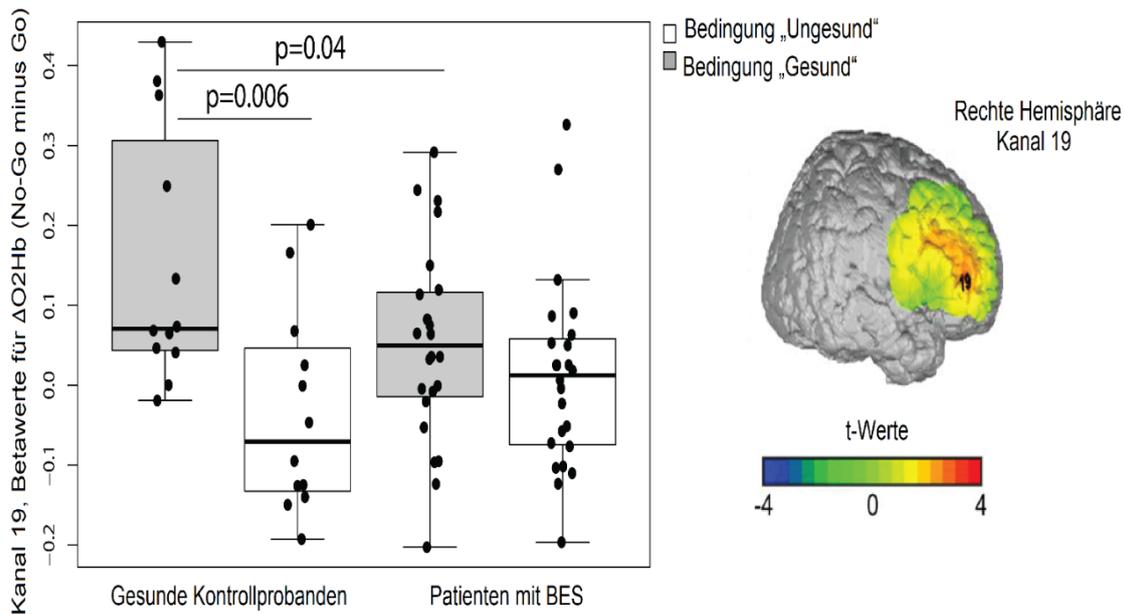


Abbildung 17 Darstellung des Kontrasts No-Go minus Go im Kanal 19 für beide Bedingungen und beide Gruppen

Im Boxplot-Diagramm sind links Betawerte von O_2Hb des Kontrasts No-Go minus Go für gesunde Kontrollprobanden und rechts für Patienten mit einer BES dargestellt, jeweils für die zwei unterschiedlichen Bedingungen „Gesund“ (grau) und „Ungesund“ (weiß). Signifikante Unterschiede sind mittels p-Werten symbolisiert. Rechts im Bild ist der Kanal 19 auf die rechte Hemisphäre projiziert. Die Farben repräsentieren t-Werte und sind gleich zur Änderung von oxygeniertem Hb, nachdem alle „Go“-Blöcke von den „No-Go“-Blöcken abgezogen wurden.

Ob tatsächlich mehr Aktivierung in einer der beiden Hemisphären stattgefunden hatte, wird im nächsten Abschnitt beleuchtet.

Hierfür wurden zum einen die sich gegenüberliegenden Kanäle miteinander verglichen (z.B.: Kanal 3 vs. Kanal 13 oder Kanal 9 vs. Kanal 19). Zum anderen wurden Mittelwerte aus den Werten von jeweils vier Kanälen berechnet, welche jeweils eine Hemisphäre darstellen. Für die linke Hemisphäre wurden Mittelwerte von den Kanälen 3, 5, 8 und 9 gebildet, für die rechte Hemisphäre von den Kanälen 13, 15, 18 und 19. Anschließend wurden jeweils für die Bedingung „Gesund“ und „Ungesund“ gepaarte t-Tests durchgeführt, um zu ermitteln, ob eine Hirnhälfte stärker aktiviert wurde als die andere.

Unabhängig davon, ob alle Probanden gemeinsam oder jede Gruppe für sich (Kontrollprobanden und BES) betrachtet wurde, konnten weder bei sich gegenüberliegenden Kanälen noch beim Vergleich der berechneten Mittelwerte aller

Kanäle einer Hemisphäre signifikante Unterschiede festgestellt werden. Somit konnte in dieser Arbeit keine Lateralisation gezeigt werden.

3.5 Korrelationen zwischen Verhaltensdaten, Probandencharakteristika und fNIRS-Kontrasten

Bei der Betrachtung der Probandencharakteristika Alter und BMI wurde festgestellt, dass die Höhe des BMIs anscheinend keinen Einfluss auf die Aktivierung hat. Für die Bedingung „Gesund“ ergab sich eine signifikante Beziehung zwischen Alter und der Aktivierung im Kanal 18 ($r = -0,404$ $p = 0,014$). Hierdurch wurde gezeigt, dass ältere Probanden eine geringere Aktivierung aufwiesen, wenn sie aufgefordert wurden, bei gesunden Nahrungsmitteln zu drücken, siehe auch Abbildung 18. Dieses Phänomen konnte für die Bedingung „Gesund“ im Trend auch in den Kanälen 13 und 15 beobachtet werden.

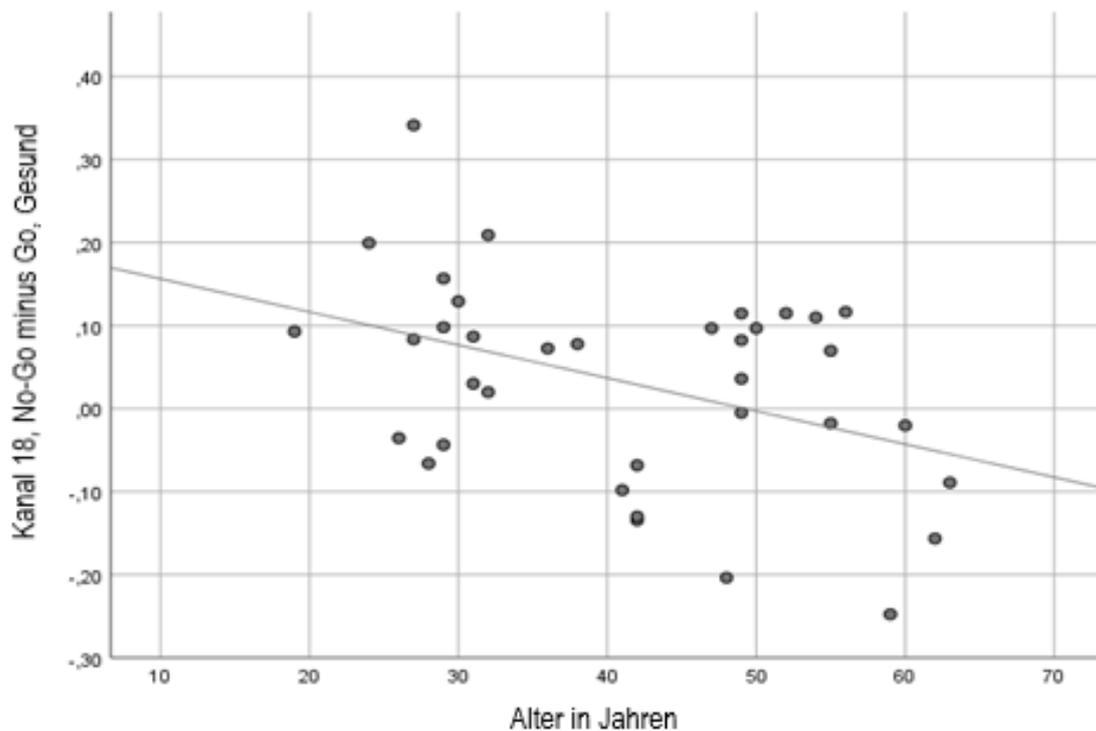


Abbildung 18 Negative Korrelation zwischen der Aktivierung im Kanal 18 für die Bedingung „Gesund“ und Alter der Probanden

Auf der x-Achse ist das Alter in Jahren, auf der y-Achse die dimensionslosen Betawerte für ΔO_2Hb („No-Go“-Blöcke minus „Go“-Blöcke) für die Bedingung „Gesund“ aufgetragen, $r = -0,404$; p -Wert = $0,014$.

Bei der Korrelation der Verhaltensdaten mit den Betawerten von ΔO_2Hb („No-Go“ minus „Go“) schienen weder Reaktionszeiten noch Auftretens- oder Auslassungsfehler einen Einfluss auf die Aktivierung zu haben. Diese Erkenntnis bestätigte sich bei der Betrachtung der Gruppe der Kontrollprobanden. Wurde lediglich die Gruppe der BES betrachtet, wurde für die Bedingung „Gesund“ festgestellt, dass für einige Kanäle positive Korrelationen zwischen den Reaktionszeiten und der Aktivierung im Gehirn bestehen (s. Tabelle 14 im Anhang und Abbildung 19). Je schneller die Probanden der Gruppe der BES also waren, desto mehr Aktivierung wurde registriert. Für die Bedingung „Ungesund“ und auch für Auftretens- oder Auslassungsfehler wurden keine Zusammenhänge festgestellt.

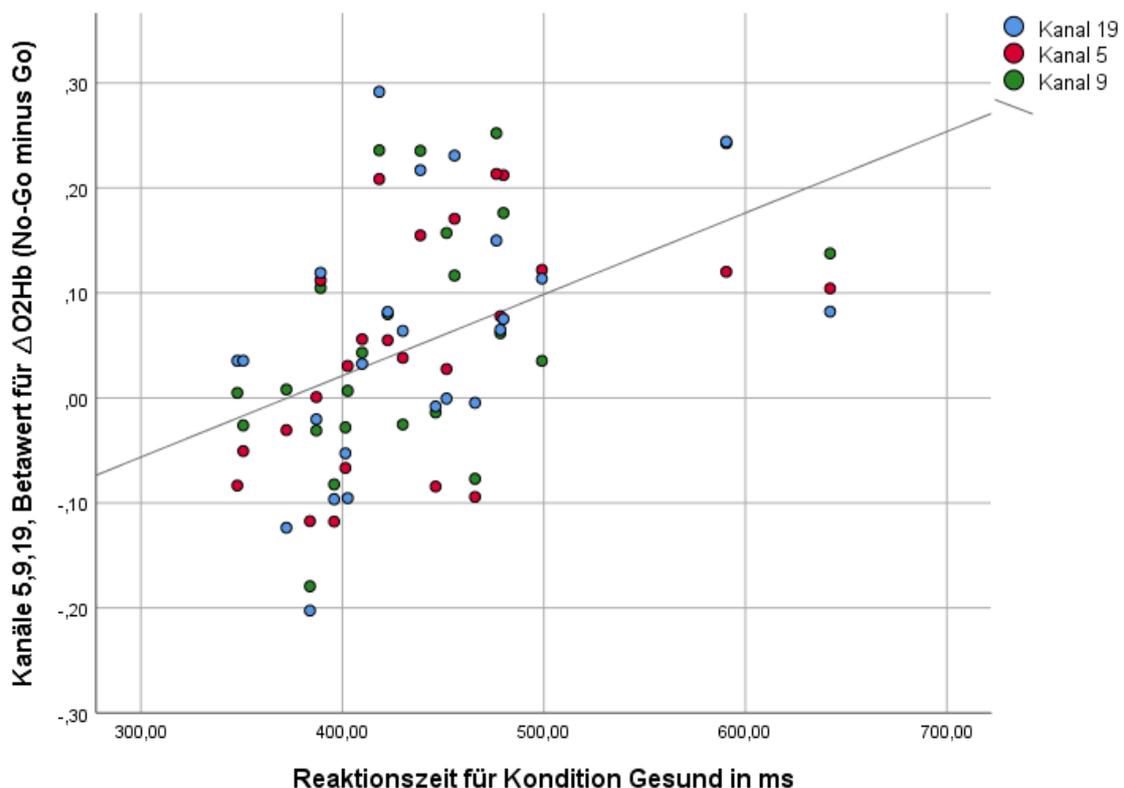


Abbildung 19 Positive Korrelation zwischen der Aktivierung in den Kanälen 5, 9, 19 für die Bedingung „Gesund“ und Reaktionszeiten der Probanden aus der Gruppe der BES

Auf der x-Achse sind die Reaktionszeiten in ms, auf der y-Achse die dimensionslosen Betawerte für ΔO_2Hb („No-Go“-Blöcke minus „Go“-Blöcke) für die Bedingung „Gesund“ aufgetragen, wobei der Verlauf der Korrelationsgeraden auf eine positive Korrelation hinweist.

Ergebnisse

Von besonderem Interesse war zuletzt, ob es Wechselbeziehungen zwischen der Höhe der Summe des BIS-15, welcher ein subjektives Maß an Impulsivität darstellt, und der objektiv erfassten Aktivierung im Gehirn gibt. Im Folgenden wurden Analysen für alle Kanäle von Interesse jeweils für die Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ durchgeführt (s. Tabelle 15 im Anhang und Abbildung 20). Vor allem in den linkshemisphärischen Ableitungen und ausschließlich für die Bedingung „Ungesund“ bestanden negative Korrelationen zwischen der Gesamtsumme des BIS-15 und der Aktivierung in den Hirnarealen. Je höher die Summe des BIS-15 war, also je impulsiver sich die Probanden einschätzten, desto geringer war deren Aktivierung in den oben beschriebenen Kanälen.

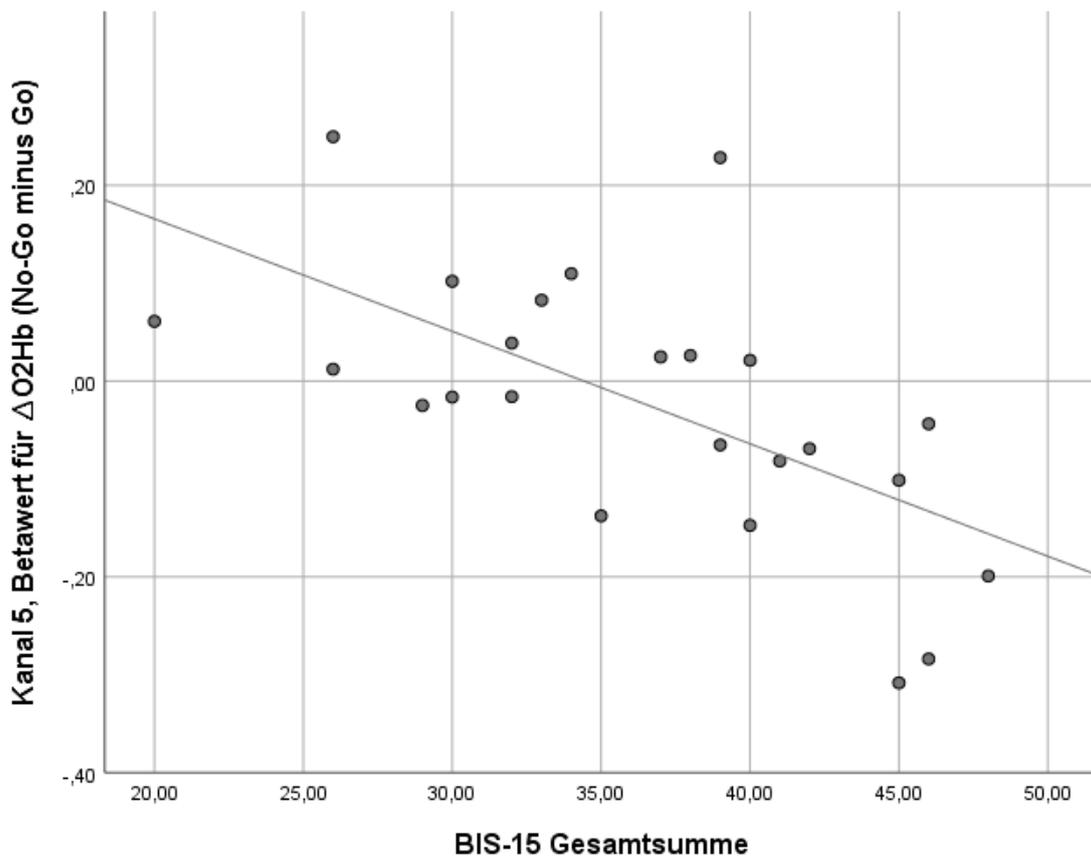


Abbildung 20 Negative Korrelation zwischen der Aktivierung im Kanal 5 für die Bedingung „Ungesund“ und der Gesamtsumme aus den BIS-15-Fragebögen der Probanden aus der Gruppe der BES

Auf der x-Achse sind die BIS-15 Gesamtsummen, auf der y-Achse die dimensionslosen Betawerte für ΔO_2Hb („No-Go“-Blöcke minus „Go“-Blöcke) für die Bedingung „Ungesund“ aufgetragen, r -Wert = -0,622; p -Wert = 0,001

4 Diskussion

Wie bereits in der Einleitung vermerkt, gibt es bisher nur wenige Untersuchungen, die sich dem Persönlichkeitsmerkmal „Impulsivität“ bei Patienten mit einer Binge-Eating-Störung wie in dem Studiendesign, welches in dieser Arbeit gewählt wurde, nähern. Zuletzt war es die Arbeitsgruppe um Rösch et al. (2021), welche einen ähnlichen Ansatz wählte, in dem sie Patienten mit einer Binge-Eating-Störung mit übergewichtigen und normalgewichtigen Probanden verglichen, wobei sie auch mittels Nahinfrarotspektroskopie kortikale Aktivität, ferner inhibitorische Kontrolle untersuchten. Die Bilder der Nahrungsmittel, welcher jeder Proband zu betrachten hatte, wurden allerdings durch persönliche Präferenzen ausgewählt. In dieser Arbeit wurden allen Probanden die gleichen Bilder von Nahrungsmitteln gezeigt, welche in gesunde und ungesunde Nahrungsmittel diskriminiert werden sollten.

4.1 Verhaltensdaten

Die ersten zwei Hypothesen konnten in dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Probanden mit einer BES waren weder schneller, noch machten sie signifikant mehr Auftretensfehler in der Bedingung „Ungesund“ gegenüber gesunden Kontrollprobanden. Insgesamt konnten für keine der erhobenen Verhaltensdaten (Reaktionszeiten, Auftretensfehler oder Auslassungsfehler) signifikante Unterschiede zwischen Patienten mit einer Binge-Eating-Störung und den Kontrollprobanden festgestellt werden. Auffallend war jedoch, dass beide Gruppen während der Bedingung „Gesund“, nämlich dann, wenn sie drücken sollten, wenn ein gesundes Nahrungsmittel abgebildet wurde, deutlich schnellere Reaktionszeiten im Vergleich zu der Bedingung „Ungesund“ zeigten. Außerdem machten die Probanden während der Bedingung „Ungesund“ signifikant mehr Auftretensfehler gegenüber der Bedingung „Gesund“.

Bisher haben sich wenige Arbeiten auf den Vergleich zwischen hochkalorischen und niedrigkalorischen Nahrungsmitteln während einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe beschränkt. Es gibt allerdings Studien, bei denen Nahrungsmittel, meist hochkalorisch, einem neutralen Stimulus gegenüberstanden. Die Arbeit von Teslovich et

Diskussion

al. (2014) hat gezeigt, dass mehr Auftretensfehler stattfanden, wenn ein hochkalorisches Nahrungsmittel ein „Go“ darstellte und ein neutraler Stimulus (z. B. ein Spielzeug) ein „No-Go“ darstellte, was in abgewandelter Form unsere Ergebnisse widerspiegelt.

Eine weitere Arbeitsgruppe um He et al. (2014) konnte zeigen, dass Probanden bei einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe deutlich geringere Reaktionszeiten und mehr Auftretensfehler in der Bedingung „Gesund“ machten gegenüber der Bedingung „Ungesund“, wobei die Bedingungen und Methoden sehr ähnlich waren wie in der vorliegenden Arbeit. Allerdings sind die Ergebnisse konträr zu den vorliegenden Daten in dieser Arbeit: Während He et al vermuten lassen, dass vor allem Probanden mit höherem BMI bzw. Probanden mit hoher Affinität zu hochkalorischen Nahrungsmitteln o. g. Ergebnisse erzielen, wird in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen, dass die Bedingung „Ungesund“ deutlich herausfordernder/schwieriger für die Probanden ist, weshalb die Reaktionszeiten für diese Bedingung signifikant langsamer waren und es signifikant häufiger zu Auftretensfehlern kam. Zudem wird vermutet, dass es „unnatürlich“ erscheint, hochkalorisches, ungesünderes Essen gegenüber niedrigkalorischen, gesünderen Nahrungsmitteln zu bevorzugen. Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen dieser Arbeit und den Resultaten oben genannter Studien gilt es in den nächsten Jahren durch weitere Untersuchungen zu verstehen. Dazu sollte ein ähnlicher Ansatz wie in vorliegender Arbeit gewählt werden, bei dem verschiedene Nahrungsmittel diskriminiert werden sollen, allerdings mit einer deutlich größeren Studienpopulation, um eine Verallgemeinerung zuzulassen. Des Weiteren sollten die verwendeten Bilder erneut daraufhin überprüft werden, ob eine der beiden Kategorien „Gesund“ vs. „Ungesund“ herausfordernder ist.

4.2 fNIRS-Daten – Aktivierung über den dorsolateralen Präfrontalkortices

Es wurde angenommen, dass bei allen Probanden eine Aktivierung über den dorsolateralen Präfrontalkortices mittels eines Anstiegs von oxygeniertem Hämoglobin stattfindet, während die Probanden eine „Go“-/„No-Go“-Aufgabe durchführten. Da es jedoch bisher wenig Arbeiten gibt, die funktionelle fNIRS-Messungen an Probanden mit starkem Übergewicht ($\text{BMI} > 40 \text{ kg/m}^2$) vorgenommen haben, galt es erneut zu zeigen, dass Veränderungen von O_2Hb mittels fNIRS auch bei dieser Probandengruppe festgestellt werden können. Wie bereits Veit et al. (2021), Rösch et al. (2021) und Deng et al. (2018) erarbeiteten, wurde auch in dieser Arbeit dargestellt, dass mit Hilfe von fNIRS Veränderungen von O_2Hb aufgezeichnet werden können. Außerdem wurde für die Bedingung „Gesund“ in allen Kanälen von Interesse und auch bei allen Probanden, also auch denen mit starkem Übergewicht, gezeigt, dass es während aller „No-Go“-Blöcke zu einem signifikant stärkeren Anstieg von O_2Hb kam als während der „Go“-Blöcke. Somit lässt sich sagen, dass Aktivität in den DLPFCs bei gesunden Kontrollprobanden und Patienten mit einer BES mittels fNIRS nachgewiesen werden kann. Interessanterweise lassen sich während der Bedingung „Ungesund“ keine signifikanten Veränderungen von O_2Hb zwischen „No-Go“- und „Go“-Blöcken aufzeigen. Es wurde also keine gesteigerte kortikale Aktivität festgestellt, welche auf eine vermehrte inhibitorische Kontrolle hinweisen würde. Das fügt sich gut in das Gesamtbild ein, welches bereits in Kapitel 4.1 gewonnen wurde und für die Kondition „Ungesund“ deutlich verlängerte Reaktionszeiten und signifikant häufigere Auftretensfehler aufzeigte. Gründe für dieses Phänomen sind bereits teilweise in Kapitel 4.1 beschrieben. Auch das gewählte Design, nämlich die Auswertung von ganzen Blöcken, könnte das Ergebnis beeinflussen. Es wird vermutet, dass bei dem Vergleich der Blöcke untereinander abgesehen von der Aktivität inhibitorischer Kontrollnetzwerke auch andere kognitive Funktionen erfasst werden, die Aufmerksamkeits- und Gedächtnisaspekte enthalten. An dieser Stelle wäre ein Design interessant, bei dem jedes einzelne Event (jedes „Go“ und jedes „No-Go“) untersucht werden würde und so die Änderungen des O_2Hb s eines jeden Events

miteinander verglichen werden könnten. Der Aspekt der kognitiven Inhibition würde hiermit noch genauer beurteilt werden.

4.3 Herabgesetzte präfrontale kortikale Aktivität bei Patienten mit einer Binge-Eating-Störung

Es wurde erwartet, dass Patienten mit einer BES gegenüber gesunden Kontrollprobanden eine mit fNIRS gemessene reduzierte präfrontale kortikale Aktivität zeigen würden, während sie eine „Go“-/„No-Go“-Aufgabe bearbeiteten, bei welcher sowohl gesunde als auch ungesunde Nahrungsmittel präsentiert wurden. Diese reduzierte kortikale Aktivität ließe den Schluss zu, dass Patienten mit einer BES eine verminderte inhibitorische Kontrolle aufweisen, wie es zuvor bereits in anderen Studien gezeigt wurde (Rösch et al., 2021, Veit et al., 2021). Diverse Arbeiten, z. B. Batterink et al. (2010), He et al. (2019) und Hege et al. (2015b) konnten mittels verschiedener bildgebender Verfahren eine verminderte präfrontale kortikale Aktivität bei adipösen Probanden ausmachen. In weiteren Publikationen wurde demonstriert, dass sowohl übergewichtige als auch normalgewichtige Probanden mit einer BES eine geringere Aktivität in den Präfrontalkortices aufwiesen gegenüber übergewichtigen Probanden ohne BES (Balodis et al., 2013, Oliva et al., 2019). Zuletzt gab es auch Studien, die mit Hilfe von fNIRS bei Patienten mit einer BES eine verminderte präfrontale kortikale Aktivität ausmachten (Rösch et al., 2021, Suda et al., 2010).

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass Patienten mit einer BES eine gegenüber gesunden Kontrollprobanden signifikant verminderte präfrontale Aktivität in fast allen rechtshemisphärischen Ableitungen zeigten, wenn sie gebeten wurden ihre Antwort bei ungesunden Nahrungsmitteln zurückzuhalten (Kondition „Gesund“). Es konnten keine signifikanten Unterschiede für die Kondition „Ungesund“ ausgemacht werden. Die Gründe hierfür wurden bereits in den Kapiteln 4.1 und 4.2 beschrieben. Gesunde Kontrollprobanden zeigten über allen kortikalen Ableitungen von Interesse, sowohl linkshemisphärisch als auch rechtshemisphärisch, eine gesteigerte Aktivität bei der Kondition „Gesund“.

4.4 Lateralisierung der dorsolateralen Präfrontalkortices

Es wurde postuliert, dass während der Darbietung von Nahrungsmitteln in einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe stärkere Aktivierungen im rechten dorsolateralen Präfrontalkortex (DLPFC) als im linken DLPFC bei gesunden Kontrollprobanden und Patienten mit einer BES erwartet werden. Wie bereits in Kapitel 1.5 beschrieben, scheinen beide Hirnhälften gewisse Anteile am Prozess der Inhibition zu haben. Diese Erkenntnis konnte durch mehrere Arbeiten, z.B. Kohl et al (2019) und Lowe et al (2019), bestätigt werden und auf die Bereiche „Entstehung bzw. Begünstigung von Adipositas“ und „inhibitorisches Verhalten während der Nahrungsaufnahme“ ausgeweitet werden. Dabei wurde demonstriert, dass die Aktivität beider dorsolateraler Präfrontalkortices sowohl regulierend auf inhibitorisches Antwortverhalten wirken als auch durch „Training“ die Aktivität moduliert werden kann.

In der Arbeit konnte, anders als erwartet, keine signifikante Lateralisation gezeigt werden. Vielmehr zeigte sich vor allem bei den gesunden Kontrollprobanden eine gesteigerte Aktivität über beiden Präfrontalarealen während der Kondition „Gesund“. Die Erkenntnisse aus dem Kapitel 4.3 lassen vermuten, dass Patienten mit einer BES vor allem rechtshemisphärisch eine verminderte Aktivität zeigten, wobei der explizite Vergleich der Aktivitäten beider Hemisphären bei den Patienten mit BES keine signifikanten Ergebnisse lieferte. Diese Vermutung würde sich mit der Publikation von Alonso-Alonso et al. (2007) decken, die der rechten Hemisphäre eine gesteigerte Rolle bei der Entstehung von Adipositas zukommen lassen.

4.5 Subjektive vs. objektive Impulsivität

Es wurde hypothetisiert, dass höhere Impulsivitätswerte (höhere Werte in den BIS-15-Fragebögen = subjektive Impulsivität) bei Probanden mit BES mit einer geringeren O₂Hb-Antwort im DLPFC (objektive Impulsivität) einhergehen, s. dazu auch Kapitel 1.3 und 1.5.

Dieses Phänomen konnte für beide Präfrontalkortices beobachtet werden, allerdings nur während der Bedingung „Ungesund“. Je mehr Punkte also in den BIS-15-Fragebögen erzielt wurden, desto geringer war die Aktivität über den dorsolateralen Präfrontalkortices während der Bedingung „Ungesund“, was im Umkehrschluss als verringerte inhibitorische Kontrolle und damit gesteigerte Impulsivität gewertet werden kann. Interessanterweise konnte dieses Ergebnis für die Bedingung „Gesund“ nicht gewonnen werden. Ein möglicher Erklärungsansatz liegt darin, dass Patienten mit einer BES deutlich impulsiver auf die Darbietung von Snacks und hochkalorischen Nahrungsmitteln reagieren (Bénard et al., 2018). Bei der Darbietung von Obst, Gemüse, Fleisch und Milchprodukten zeigten sich die Probanden weniger impulsiv (Bénard et al., 2018). Eine weitere Studie bestätigt die Vermutung, dass jugendliche Menschen, die impulsiver sind und weniger inhibitorische Kontrolle haben, häufiger ungesunde Essgewohnheiten haben (Jasinska et al., 2012).

Weitere Studien konnten Zusammenhänge zwischen der Aufnahme von ungesunden Nahrungsmitteln und dem Auftreten von Binge-Eating Episoden und Übergewicht bei Ratten zeigen (Boggiano et al., 2007, Hagan et al., 2003).

Schlussendlich gilt auch hier Frage, ob die Beschaffenheit der in der vorliegenden Arbeit präsentierten Bilder einen Einfluss auf die Ergebnisse hat und wenn ja, ob es in einer weiteren Arbeit gelingen würde, für beide Bedingungen signifikante Korrelationen zwischen der subjektiven Impulsivität und der objektiven Impulsivität herzustellen.

5 Zusammenfassung

Zahlreiche Essstörungen zählen immer noch zu den häufigsten psychiatrischen Erkrankungen. Eine Form dieser Essstörungen ist die Binge-Eating-Störung (BES), bei welcher Patienten unter wiederholten Essattacken leiden bzw. ein Verlust der Kontrolle über die Nahrungsaufnahme vorherrscht. Die Patienten leiden häufig unter Übergewicht und weiteren physischen und psychischen Begleiterkrankungen. Um die Erkrankung besser zu verstehen und schlussendlich geeignete Therapiemöglichkeiten zu etablieren, ist es v. a. erforderlich, die Entstehungsmechanismen, insbesondere das Persönlichkeitsmerkmal „Impulsivität“, zu ergründen.

In der vorliegenden Arbeit wurde sich mit der Frage beschäftigt, inwieweit für die inhibitorische Kontrolle ein neuronales Korrelat ausgemacht werden kann und ob die inhibitorische Kontrolle von Patienten mit einer BES gegenüber Kontrollprobanden ohne Essstörungen vermindert ist. Dazu wurden 24 Patienten mit einer BES, welche im Rahmen einer größer angelegten Untersuchung an einer Therapiestudie teilnahmen, und 12 Kontrollprobanden in einer Nahinfrarotspektroskopiestudie untersucht. Die Probanden wurden während einer „Go“-/„No-Go“-Aufgabe gebeten, schnellstmöglich zwischen gesunden und ungesunden Nahrungsmitteln, welche auf einem Computerbildschirm präsentiert wurden, per Tastendruck zu diskriminieren. Während der Aufgabenbearbeitung wurde mittels funktionseller Nahinfrarotspektroskopie die kortikale Aktivierung gemessen.

Es konnte bei allen Probanden ein Anstieg von oxygeniertem Hämoglobin (O_2Hb) gezeigt werden, nachdem ein Kontrast gebildet wurde, indem alle „Go“-Blöcke von den „No-Go“-Blöcken („No-Go“ minus „Go“) abgezogen wurden, was als Anzeichen für gesteigerte präfrontale Aktivität und damit als vermehrte inhibitorische Kontrolle gewertet werden kann. Des Weiteren wurde bei Patienten mit einer BES verglichen mit den Kontrollprobanden nach Aufforderung ihre Antwort (Tastendruck) bei Betrachten eines ungesunden Nahrungsmittels zu unterdrücken („No-Go“) eine signifikante, v. a. rechtshemisphärische, verminderte kortikale Aktivität beobachtet. Auch zeigte sich, dass die Patienten mit einer BES, die sich anhand des BIS-15-Fragebogens subjektiv als sehr impulsiv einschätzten, eine verminderte Aktivität in den Präfrontalkortices aufwiesen, wenn sie während

Zusammenfassung

der „Go“-/„No-Go“-Aufgabe aufgefordert wurden, ihre Antwort bei gesunden Nahrungsmitteln zu unterdrücken.

Abschließend lässt sich sagen, dass diese Arbeit die aktuell gültige Meinung, dass Patienten mit einer Binge-Eating-Störung eine verminderte inhibitorische Kontrolle und eine gesteigerte Impulsivität aufweisen, bestätigt, und die Nahinfrarotspektroskopie ein probates Werkzeug darstellt, um kortikale Aktivität zu visualisieren.

6 Anhang

Tabelle 12 Gerätschaften

Geräte	Hersteller
Befestigungsbänder - Gummi mit Klettverschluss	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
EEG-Haube	Fa. Unbekannt, für Kopfumfang 58-60 cm
Kajal, verschiedene Farben	Fa. Cosnova GmbH, Sulzbach, Deutschland
Laptop	Lenovo ThinkPad, Modell W530, Modell T450s, Fa. Lenovo Group Ltd., Hongkong, Volksrepublik China
Maßband	Fa. Unbekannt, 0-150 cm
Master-Slave-Verbindungskabel	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
Optische Glasfaserkabel mit Optoden	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
Optodenhalter – 2x10 Löcher	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
OXYMON MK III	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
OXYMON USB-Kabel	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
PC-Bildschirm, Modell: FlexScan S1901	Fa. EIZO Corporation, Hakusan, Ishikawa, Japan
Schraubenzieher	Fa. Facom, Stanley Black & Decker Corporation, New Britain, Vereinigte Staaten von Amerika
USB-Dongle	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
USB-Hub Model Nr.: DA-70231	Fa. Digitus, Marke von ASSMANN Electronic GmbH, Lüdenscheid, Deutschland
Wireless Tastatur (K330) und Maus (M215)	Fa. Logitech international S.A., Apples, Schweiz

Tabelle 13 Verwendete Software

Software	Hersteller
IBM SPSS Statistics 24	Fa. IBM, Armonk, New York, Vereinigte Staaten von Amerika
Matlab v.14b	The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, Vereinigte Staaten von Amerika
Microsoft Office 365	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika
Microsoft Office 2010	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika
Mozilla Firefox v.47.0.1	Fa. Mozilla, Mountain View, Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika
Oxysoft 3.0	Artinis Medical Systems, Elst, Niederlande
Presentation 18.1	Fa. Neurobehavioral Systems, Inc., Berkeley, Kalifornien, Vereinigte Staaten von Amerika
Snipping-Tool	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika
Tight VNC-Viewer v.2.7.10	Fa. GlavSoft LLC., Tomsk, Russland
Windows-Taschenrechner	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika
WinSCP v.5.5.3	Freeware, Entwickler: Martin Přikryl
Windows 7	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika
Windows 10	Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten von Amerika

Tabelle 14 Korrelation zwischen Aktivierung und Reaktionszeiten für die Bedingung „Gesund“ In Spalte 2 werden alle Probanden, in Spalte 3 nur die Kontrollprobanden und in Spalte 4 die Gruppe der BES abgebildet. Zu sehen sind die Korrelationskoeffizienten (r-Werte) und p-Werte, welche zeigen, ob sich die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null unterscheiden ($p < 0,05$ = signifikant).

	Reaktionszeiten bei „Go“-Blöcken		
	Alle Probanden	Kontrollprobanden	BES
Kanal 3	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 5	n. s.	n. s.	r=0,474 p=0,019
Kanal 8	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 9	n. s.	n. s.	r=0,504 p=0,012
Kanal 13	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 15	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 18	n. s.	n. s.	n. s.
Kanal 19	n. s.	n. s.	r=0,438 p=0,032

Tabelle 15 Korrelation zwischen Aktivierung und Gesamtsumme im BIS-15 für die Bedingungen „Gesund“ und „Ungesund“ In Spalte 2 wird die Aktivierung während der Bedingung „Gesund“ mit dem BIS-15 korreliert, in Spalte 3 die Aktivierung während der Bedingung „Ungesund“. Zu sehen sind die Korrelationskoeffizienten (r-Werte) und p-Werte, welche zeigen, ob sich die Korrelationskoeffizienten signifikant von Null unterscheiden ($p < 0,05$ = signifikant).

Bedingungen	BIS-15 Gesamtsumme	
	„Gesund“	„Ungesund“
Kanal 3	n. s.	r = -0,499 p = 0,013
Kanal 5	n. s.	r = -0,622 p = 0,001
Kanal 8	n. s.	r = -0,492 p = 0,014
Kanal 9	n. s.	r = -0,417 p = 0,043
Kanal 13	n. s.	n. s.
Kanal 15	n. s.	n. s.
Kanal 18	n. s.	r = -0,550 p = 0,005
Kanal 19	n. s.	n. s.

7 Literaturverzeichnis

- (NCD-RISC), N. R. F. C. 2016. Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *Lancet*, 387, 1377-1396.
- AICHERT, D. S., WÖSTMANN, N. M., COSTA, A., MACARE, C., WENIG, J. R., MÖLLER, H. J., RUBIA, K. & ETTINGER, U. 2012. Associations between trait impulsivity and prepotent response inhibition. *J Clin Exp Neuropsychol*, 34, 1016-32.
- ALONSO-ALONSO, M. & PASCUAL-LEONE, A. 2007. The Right Brain Hypothesis for Obesity. *JAMA*, 297, 1819-1822.
- ARAUJO, D. M. R., SANTOS, G. F. D. S. & NARDI, A. E. 2010. Binge eating disorder and depression: A systematic review. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 11, 199-207.
- ASSOCIATION, A. P. 2013. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, Fifth Edition. *Am Psychiatric Assoc*, 21, 591-643.
- BALODIS, I. M., MOLINA, N. D., KOBER, H., WORHUNSKY, P. D., WHITE, M. A., SINHA, R., GRILO, C. M. & POTENZA, M. N. 2013. Divergent neural substrates of inhibitory control in binge eating disorder relative to other manifestations of obesity. *Obesity*, 21, 367-377.
- BATTERINK, L., YOKUM, S. & STICE, E. 2010. Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: an fMRI study. *Neuroimage*, 52, 1696-703.
- BECK, A. T., WARD, C. H., MENDELSON, M., MOCK, J. & ERBAUGH, J. 1961. An inventory for measuring depression. *Arch Gen Psychiatry*, 4, 561-71.
- BÉNARD, M., BELLISLE, F., KESSE-GUYOT, E., JULIA, C., ANDREEVA, V. A., ETILÉ, F., REACH, G., DECHELOTTE, P., TAVOLACCI, M.-P., HERCBERG, S. & PÉNEAU, S. 2018. Impulsivity is associated with food intake, snacking, and eating disorders in a general population. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 109, 117-126.
- BLECHERT, J., MEULE, A., BUSCH, N. A. & OHLA, K. 2014. Food-pics: an image database for experimental research on eating and appetite. *Frontiers in psychology*, 5, 617-617.
- BOGGIANO, M. M., ARTIGA, A. I., PRITCHETT, C. E., CHANDLER-LANEY, P. C., SMITH, M. L. & ELDRIDGE, A. J. 2007. High intake of palatable food predicts binge-eating independent of susceptibility to obesity: an animal model of lean vs obese binge-eating and obesity with and without binge-eating. *Int J Obes (Lond)*, 31, 1357-67.
- BROWNLEY, K. A., BERKMAN, N. D., PEAT, C. M., LOHR, K. N., CULLEN, K. E., BANN, C. M. & BULIK, C. M. 2016. Binge-Eating Disorder in Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Annals of internal medicine*, 165, 409-420.
- CARVER, C. S. & WHITE, T. L. 1994. Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: The BIS/BAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 319-333.

- CASATI, A., SPREAFICO, E., PUTZU, M. & FANELLI, G. 2006. New technology for noninvasive brain monitoring: continuous cerebral oximetry. *Minerva anesthesiologica*, 72, 605.
- CASEY, B. J., TRAINOR, R. J., ORENDI, J. L., SCHUBERT, A. B., NYSTROM, L. E., GIEDD, J. N., CASTELLANOS, F. X., HAXBY, J. V., NOLL, D. C., COHEN, J. D., FORMAN, S. D., DAHL, R. E. & RAPOPORT, J. L. 1997. A Developmental Functional MRI Study of Prefrontal Activation during Performance of a Go-No-Go Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.
- CHANCE, B., COPE, M., GRATTON, E., RAMANUJAM, N. & TROMBERG, B. 1998. Phase measurement of light absorption and scatter in human tissue. *Review of Scientific Instruments*, 69, 3457-3481.
- CHANCE, B., LEIGH, J. S., MIYAKE, H., SMITH, D. S., NIOKA, S., GREENFELD, R., FINANDER, M., KAUFMANN, K., LEVY, W. & YOUNG, M. 1988. Comparison of time-resolved and -unresolved measurements of deoxyhemoglobin in brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85, 4971.
- DARBY, A., HAY, P., MOND, J., QUIRK, F., BUTTNER, P. & KENNEDY, L. 2009. The rising prevalence of comorbid obesity and eating disorder behaviors from 1995 to 2005. *Int J Eat Disord*, 42, 104-8.
- DAWE, S. & LOXTON, N. J. 2004. The role of impulsivity in the development of substance use and eating disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28, 343-351.
- DENG, Z., HUANG, Q., HUANG, J., ZHANG, W., QI, C. & XU, X. 2018. Association between central obesity and executive function as assessed by stroop task performance: A functional near-infrared spectroscopy study. *Journal of innovative optical health sciences*, 11, 1750010.
- DSM-V 2013. Feeding and Eating Disorders. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association.
- DUNCAN, A., MEEK, J. H., CLEMENCE, M., ELWELL, C. E., FALLON, P., TYSZCZUK, L., COPE, M. & DELPY, D. T. 1996. Measurement of Cranial Optical Path Length as a Function of Age Using Phase Resolved Near Infrared Spectroscopy. *Pediatric Research*, 39, 889.
- EDMONDS JR, H. L., GANZEL, B. L. & AUSTIN, E. H. Cerebral oximetry for cardiac and vascular surgery. *Seminars in cardiothoracic and vascular anesthesia*, 2004. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 147-166.
- ERSKINE, H. E. & WHITEFORD, H. A. 2018. Epidemiology of binge eating disorder. *Curr Opin Psychiatry*.
- EVENDEN, J. L. 1999. Varieties of impulsivity. *Psychopharmacology*, 146, 348-361.
- FAIRBURN, C. G. & BEGLIN, S. J. 1994. Assessment of eating disorders: interview or self-report questionnaire? *Int J Eat Disord*, 16, 363-70.
- GARAVAN, H., ROSS, T. J., MURPHY, K., ROCHE, R. A. & STEIN, E. A. 2002. Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: inhibition, error detection, and correction. *Neuroimage*, 17, 1820-9.
- GEISELMAN, P. J., ANDERSON, A. M., DOWDY, M. L., WEST, D. B., REDMANN, S. M. & SMITH, S. R. 1998. Reliability and Validity of a

- Macronutrient Self-Selection Paradigm and a Food Preference Questionnaire 11P. J. G. and M. L. D. are also affiliated with the Department of Psychology, Louisiana State University, Baton Rouge, LA. *Physiology & Behavior*, 63, 919-928.
- GIEL, K. E., TEUFEL, M., JUNNE, F., ZIPFEL, S. & SCHAG, K. 2017. Food-Related Impulsivity in Obesity and Binge Eating Disorder-A Systematic Update of the Evidence. *Nutrients*, 9.
- GRILO, C. M., WHITE, M. A. & MASHEB, R. M. 2009. DSM-IV psychiatric disorder comorbidity and its correlates in binge eating disorder. *Int J Eat Disord*, 42, 228-34.
- HAEUSSINGER, F. B., DRESLER, T., HEINZEL, S., SCHECKLMANN, M., FALLGATTER, A. J. & EHLIS, A. C. 2014. Reconstructing functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) signals impaired by extra-cranial confounds: an easy-to-use filter method. *Neuroimage*, 95, 69-79.
- HAGAN, M. M., CHANDLER, P. C., WAUFORD, P. K., RYBAK, R. J. & OSWALD, K. D. 2003. The role of palatable food and hunger as trigger factors in an animal model of stress induced binge eating. *Int J Eat Disord*, 34, 183-97.
- HE, Q., HUANG, X., ZHANG, S., TUREL, O., MA, L. & BECHARA, A. 2019. Dynamic Causal Modeling of Insular, Striatal, and Prefrontal Cortex Activities During a Food-Specific Go/NoGo Task. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 4, 1080-1089.
- HE, Q., XIAO, L., XUE, G., WONG, S., AMES, S., SCHEMBRE, S. & BECHARA, A. 2014. Poor ability to resist tempting calorie rich food is linked to altered balance between neural systems involved in urge and self-control. *Nutrition journal*, 13, 92.
- HEGE, M. A., PREISSEL, H. & STINGL, K. T. 2014. Magnetoencephalographic signatures of right prefrontal cortex involvement in response inhibition. *Human Brain Mapping*, 35, 5236-5248.
- HEGE, M. A., STINGL, K. T., KULLMANN, S., SCHAG, K., GIEL, K. E., ZIPFEL, S. & PREISSEL, H. 2015a. Attentional impulsivity in binge eating disorder modulates response inhibition performance and frontal brain networks. *Int J Obes (Lond)*, 39, 353-60.
- HEGE, M. A., STINGL, K. T., KULLMANN, S., SCHAG, K., GIEL, K. E., ZIPFEL, S. & PREISSEL, H. 2015b. Attentional impulsivity in binge eating disorder modulates response inhibition performance and frontal brain networks. *International Journal of Obesity*, 39, 353-360.
- HERRMANN, M. J., PLICHTA, M. M., EHLIS, A.-C. & FALLGATTER, A. J. 2005. Optical topography during a Go–NoGo task assessed with multi-channel near-infrared spectroscopy. *Behavioural Brain Research*, 160, 135-140.
- HILBERT, A. & TUSCHEN-CAFFIER, B. 2006. Eating Disorder Examination: Deutschsprachige Übersetzung. *Münster: Verlag für Psychotherapie*, 2006.
- HORN, N. R., DOLAN, M., ELLIOTT, R., DEAKIN, J. F. W. & WOODRUFF, P. W. R. 2003. Response inhibition and impulsivity: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 41, 1959-1966.
- HOSHI, Y., KOBAYASHI, N. & TAMURA, M. 2001. Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1657-1662.

- HUDAK, J., BLUME, F., DRESLER, T., HAEUSSINGER, F. B., RENNER, T. J., FALLGATTER, A. J., GAWRILOW, C. & EHLIS, A.-C. 2017. Near-Infrared Spectroscopy-Based Frontal Lobe Neurofeedback Integrated in Virtual Reality Modulates Brain and Behavior in Highly Impulsive Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11.
- HUDSON, J. I., LALONDE, J. K., BERRY, J. M., PINDYCK, L. J., BULIK, C. M., CROW, S. J., MCELROY, S. L., LAIRD, N. M., TSUANG, M. T., WALSH, B. T., ROSENTHAL, N. R. & POPE, H. G., JR. 2006. Binge-eating disorder as a distinct familial phenotype in obese individuals. *Arch Gen Psychiatry*, 63, 313-9.
- HUDSON, J. I., LALONDE, J. K., COIT, C. E., TSUANG, M. T., MCELROY, S. L., CROW, S. J., BULIK, C. M., HUDSON, M. S., YANOVSKI, J. A., ROSENTHAL, N. R. & POPE, H. G., JR. 2010. Longitudinal study of the diagnosis of components of the metabolic syndrome in individuals with binge-eating disorder. *Am J Clin Nutr*, 91, 1568-73.
- JASINSKA, A. J., YASUDA, M., BURANT, C. F., GREGOR, N., KHATRI, S., SWEET, M. & FALK, E. B. 2012. Impulsivity and inhibitory control deficits are associated with unhealthy eating in young adults. *Appetite*, 59, 738-47.
- JASPER, H. 1958. Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10, 370-375.
- JOBSIS, F. F. 1977. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198, 1264.
- KESSLER, R. C., BERGLUND, P. A., CHIU, W. T., DEITZ, A. C., HUDSON, J. I., SHAHLY, V., AGUILAR-GAXIOLA, S., ALONSO, J., ANGERMEYER, M. C., BENJET, C., BRUFFAERTS, R., DE GIROLAMO, G., DE GRAAF, R., MARIA HARO, J., KOVESS-MASFETY, V., O'NEILL, S., POSADA-VILLA, J., SASU, C., SCOTT, K., VIANA, M. C. & XAVIER, M. 2013. The prevalence and correlates of binge eating disorder in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *Biol Psychiatry*, 73, 904-14.
- KOHL, S. H., VEIT, R., SPETTER, M. S., GÜNTHER, A., RINA, A., LÜHRS, M., BIRBAUMER, N., PREISSEL, H. & HALLSCHMID, M. 2019. Real-time fMRI neurofeedback training to improve eating behavior by self-regulation of the dorsolateral prefrontal cortex: A randomized controlled trial in overweight and obese subjects. *NeuroImage*, 191, 596-609.
- KONISHI, S., NAKAJIMA, K., UCHIDA, I., SEKIHARA, K. & MIYASHITA, Y. 1998. No-go dominant brain activity in human inferior prefrontal cortex revealed by functional magnetic resonance imaging. *Eur J Neurosci*, 10, 1209-13.
- KUHNER, C., BURGER, C., KELLER, F. & HAUTZINGER, M. 2007. [Reliability and validity of the Revised Beck Depression Inventory (BDI-II). Results from German samples]. *Nervenarzt*, 78, 651-6.
- LAVALLEE, C. F., HERRMANN, C. S., WEERDA, R. & HUSTER, R. J. 2014. Stimulus-response mappings shape inhibition processes: a combined EEG-fMRI study of contextual stopping. *PLoS one*, 9, e96159-e96159.
- LLOYD-FOX, S., BLASI, A. & ELWELL, C. E. 2010. Illuminating the developing brain: The past, present and future of functional near infrared spectroscopy. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34, 269-284.

- LOWE, C. J., REICHELT, A. C. & HALL, P. A. 2019. The Prefrontal Cortex and Obesity: A Health Neuroscience Perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 23, 349-361.
- MEEK, J. H., FIRBANK, M., ELWELL, C. E., ATKINSON, J., BRADDICK, O. & WYATT, J. S. 1998. Regional hemodynamic responses to visual stimulation in awake infants. *Pediatric research*, 43, 840-843.
- METZGER, F. G., EHLIS, A.-C., HAEUSSINGER, F. B., SCHNEEWEISS, P., HUDAK, J., FALLGATTER, A. J. & SCHNEIDER, S. 2017. Functional brain imaging of walking while talking – An fNIRS study. *Neuroscience*, 343, 85-93.
- MEULE, A., VÖGELE, C. & KÜBLER, A. 2011. Psychometrische Evaluation der deutschen Barratt Impulsiveness Scale – Kurzversion (BIS-15). *Diagnostica*, 57, 126-133.
- NG, M., FLEMING, T., ROBINSON, M., THOMSON, B., GRAETZ, N., MARGONO, C., MULLANY, E. C., BIRYUKOV, S., ABBAFATI, C., ABERA, S. F., ABRAHAM, J. P., ABU-RMEILEH, N. M., ACHOKI, T., ALBUHAIRAN, F. S., ALEMU, Z. A., ALFONSO, R., ALI, M. K., ALI, R., GUZMAN, N. A., AMMAR, W., ANWARI, P., BANERJEE, A., BARQUERA, S., BASU, S., BENNETT, D. A., BHUTTA, Z., BLORE, J., CABRAL, N., NONATO, I. C., CHANG, J. C., CHOWDHURY, R., COURVILLE, K. J., CRIQUI, M. H., CUNDIFF, D. K., DABHADKAR, K. C., DANDONA, L., DAVIS, A., DAYAMA, A., DHARMARATNE, S. D., DING, E. L., DURRANI, A. M., ESTEGHAMATI, A., FARZADFAR, F., FAY, D. F., FEIGIN, V. L., FLAXMAN, A., FOROUZANFAR, M. H., GOTO, A., GREEN, M. A., GUPTA, R., HAFEZI-NEJAD, N., HANKEY, G. J., HAREWOOD, H. C., HAVMOELLER, R., HAY, S., HERNANDEZ, L., HUSSEINI, A., IDRISOV, B. T., IKEDA, N., ISLAMI, F., JAHANGIR, E., JASSAL, S. K., JEE, S. H., JEFFREYS, M., JONAS, J. B., KABAGAMBE, E. K., KHALIFA, S. E., KENGNE, A. P., KHADER, Y. S., KHANG, Y. H., KIM, D., KIMOKOTI, R. W., KINGE, J. M., KOKUBO, Y., KOSEN, S., KWAN, G., LAI, T., LEINSALU, M., LI, Y., LIANG, X., LIU, S., LOGROSCINO, G., LOTUFO, P. A., LU, Y., MA, J., MAINOO, N. K., MENSAH, G. A., MERRIMAN, T. R., MOKDAD, A. H., MOSCHANDREAS, J., NAGHAVI, M., NAHEED, A., NAND, D., NARAYAN, K. M., NELSON, E. L., NEUHOUSER, M. L., NISAR, M. I., OHKUBO, T., OTI, S. O., PEDROZA, A., et al. 2014. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*, 384, 766-81.
- OLDFIELD, R. C. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- OLIVA, R., MORYS, F., HORSTMANN, A., CASTIELLO, U. & BEGLIOMINI, C. 2019. The impulsive brain: Neural underpinnings of binge eating behavior in normal-weight adults. *Appetite*, 136, 33-49.
- PALAVRAS, M. A., HAY, P., DOS SANTOS FILHO, C. A. & CLAUDINO, A. 2017. The Efficacy of Psychological Therapies in Reducing Weight and Binge Eating in People with Bulimia Nervosa and Binge Eating Disorder Who Are Overweight or Obese—A Critical Synthesis and Meta-Analyses. *Nutrients*, 9, 299.

- PATTON, J. H., STANFORD, M. S. & BARRATT, E. S. 1995. Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *J Clin Psychol*, 51, 768-74.
- PEREZ, M. & WARREN, C. S. 2012. The relationship between quality of life, binge-eating disorder, and obesity status in an ethnically diverse sample. *Obesity (Silver Spring)*, 20, 879-85.
- PLICHTA, M. M., HERRMANN, M. J., BAEHNE, C. G., EHLIS, A. C., RICHTER, M. M., PAULI, P. & FALLGATTER, A. J. 2006. Event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): Are the measurements reliable? *NeuroImage*, 31, 116-124.
- PREUSS, U. W., RUJESCU, D., GIEGLING, I., WATZKE, S., KOLLER, G., ZETZSCHE, T., MEISENZAHN, E. M., SOYKA, M. & MÖLLER, H. J. 2008. Psychometrische Evaluation der deutschsprachigen Version der Barratt-Impulsivness-Skala. *Der Nervenarzt*, 79, 305-319.
- PSCHYREMBEL 2016. Impulsivität.
- QUARESIMA, V., LEPANTO, R. & FERRARI, M. 2003. The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 43, 1.
- RAEVUORI, A., SUOKAS, J., HAUKKA, J., GISSLER, M., LINNA, M., GRAINGER, M. & SUVISAARI, J. 2015. Highly increased risk of type 2 diabetes in patients with binge eating disorder and bulimia nervosa. *Int J Eat Disord*, 48, 555-62.
- RÖSCH, S. A., SCHMIDT, R., LÜHRS, M., EHLIS, A.-C., HESSE, S. & HILBERT, A. 2021. Evidence of fNIRS-Based Prefrontal Cortex Hypoactivity in Obesity and Binge-Eating Disorder. *Brain Sciences*, 11, 19.
- SANKOH, A. J., HUQUE, M. F. & DUBEY, S. D. 1997. Some comments on frequently used multiple endpoint adjustment methods in clinical trials. *Statistics in Medicine*, 16, 2529-2542.
- SATO, H., DRESLER, T., HAEUSSINGER, F. B., FALLGATTER, A. J. & EHLIS, A.-C. 2014. Replication of the correlation between natural mood states and working memory-related prefrontal activity measured by near-infrared spectroscopy in a German sample. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 37.
- SATO, H., YAHATA, N., FUNANE, T., TAKIZAWA, R., KATURA, T., ATSUMORI, H., NISHIMURA, Y., KINOSHITA, A., KIGUCHI, M., KOIZUMI, H., FUKUDA, M. & KASAI, K. 2013. A NIRS-fMRI investigation of prefrontal cortex activity during a working memory task. *Neuroimage*, 83, 158-73.
- SCHAG, K., LEEHR, E. J., SKODA, E. M., BECKER, S., ZIPFEL, S. & GIEL, K. E. 2016. [Impulsivity-focused Group Intervention to reduce Binge Eating Episodes in Patients with Binge Eating Disorder - A Group Training Program]. *Psychother Psychosom Med Psychol*, 66, 449-454.
- SCHAG, K., RENNHAKE, S. K., LEEHR, E. J., SKODA, E.-M., BECKER, S., BETHGE, W., MARTUS, P., ZIPFEL, S. & GIEL, K. E. 2019. IMPULS: impulsivity-focused group intervention to reduce binge eating episodes in patients with binge eating disorder—a randomised controlled trial. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 88, 141-153.
- SCHAG, K., SCHONLEBER, J., TEUFEL, M., ZIPFEL, S. & GIEL, K. E. 2013a. Food-related impulsivity in obesity and binge eating disorder—a systematic review. *Obes Rev*, 14, 477-95.

- SCHAG, K., TEUFEL, M., JUNNE, F., PREISSEL, H., HAUTZINGER, M., ZIPFEL, S. & GIEL, K. E. 2013b. Impulsivity in Binge Eating Disorder: Food Cues Elicit Increased Reward Responses and Disinhibition. *PLOS ONE*, 8, e76542.
- SCHECKLMANN, M., GIANI, A., TUPAK, S., LANGGUTH, B., RAAB, V., POLAK, T., VÁRALLYAY, C., HARNISCH, W., HERRMANN, M. J. & FALLGATTER, A. J. 2014. Functional Near-Infrared Spectroscopy to Probe State- and Trait-Like Conditions in Chronic Tinnitus: A Proof-of-Principle Study. *Neural Plasticity*, 2014, 894203.
- SCHOLKMANN, F. & WOLF, M. 2013. General equation for the differential pathlength factor of the frontal human head depending on wavelength and age. *J Biomed Opt*, 18, 105004.
- STEIN, D. J., AGUILAR-GAXIOLA, S., ALONSO, J., BRUFFAERTS, R., DE JONGE, P., LIU, Z., MIGUEL CALDAS-DE-ALMEIDA, J., O'NEILL, S., VIANA, M. C., AL-HAMZAWI, A. O., ANGERMEYER, M. C., BENJET, C., DE GRAAF, R., FERRY, F., KOVÉSS-MASFETY, V., LEVINSON, D., DE GIROLAMO, G., FLORESCU, S., HU, C., KAWAKAMI, N., MARIA HARO, J., PIAZZA, M., POSADA-VILLA, J., WOJTYNIAK, B. J., XAVIER, M., LIM, C. C. W., KESSLER, R. C. & SCOTT, K. M. 2014. Associations between mental disorders and subsequent onset of hypertension. *General Hospital Psychiatry*, 36, 142-149.
- STEINBRINK, J., VILLRINGER, A., KEMPF, F., HAUX, D., BODEN, S. & OBRIG, H. 2006. Illuminating the BOLD signal: combined fMRI-fNIRS studies. *Magn Reson Imaging*, 24, 495-505.
- STROBEL, A., BEAUDUCEL, A., DEBENER, S. & BROCKE, B. 2001. Eine deutschsprachige Version des BIS/BAS-Fragebogens von Carver und White. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 22, 216-227.
- SUDA, M., UEHARA, T., FUKUDA, M., SATO, T., KAMEYAMA, M. & MIKUNI, M. 2010. Dieting tendency and eating behavior problems in eating disorder correlate with right frontotemporal and left orbitofrontal cortex: a near-infrared spectroscopy study. *J Psychiatr Res*, 44, 547-55.
- TESLOVICH, T., FREIDL, E. K., KOSTRO, K., WEIGEL, J., DAVIDOW, J. Y., RIDDLE, M. C., HELION, C., DREYFUSS, M., ROSENBAUM, M., WALSH, B. T., CASEY, B. J. & MAYER, L. 2014. Probing behavioral responses to food: Development of a food-specific go/no-go task. *Psychiatry Research*, 219, 166-170.
- THEMELIS, G., D'ARCEUIL, H., DIAMOND, S. G., THAKER, S., HUPPERT, T. J., BOAS, D. A. & FRANCESCHINI, M. A. 2007. Near-infrared spectroscopy measurement of the pulsatile component of cerebral blood flow and volume from arterial oscillations. *Journal of biomedical optics*, 12, 014033-014033.
- VEIT, R., SCHAG, K., SCHOPF, E., BORUTTA, M., KREUTZER, J., EHLIS, A.-C., ZIPFEL, S., GIEL, K. E., PREISSEL, H. & KULLMANN, S. 2021. Diminished prefrontal cortex activation in patients with binge eating disorder associates with trait impulsivity and improves after impulsivity-focused treatment based on a randomized controlled IMPULS trial. *NeuroImage: Clinical*, 102679.

- VILLRINGER, A., PLANCK, J., HOCK, C., SCHLEINKOFER, L. & DIRNAGL, U. 1993. Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults. *Neuroscience letters*, 154, 101-104.
- VILLRINGER, K., MINOSHIMA, S., HOCK, C., OBRIG, H., ZIEGLER, S., DIRNAGL, U., SCHWAIGER, M. & VILLRINGER, A. 1997. Assessment of local brain activation. A simultaneous PET and near-infrared spectroscopy study. *Adv Exp Med Biol*, 413, 149-53.
- VITORIO, R., STUART, S., ROCHESTER, L., ALCOCK, L. & PANTALL, A. 2017. fNIRS response during walking - Artefact or cortical activity? A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev*, 83, 160-172.
- WAXMAN, S. E. 2009. A systematic review of impulsivity in eating disorders. *Eur Eat Disord Rev*, 17, 408-25.
- WITTCHEN, H.-U., ZAUDIG, M. & FYDRICH, T. 1997. Skid. Strukturiertes klinisches Interview für DSM-IV. Achse I und II. Handanweisung.

8 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die vorliegende Arbeit wurde im fMEG-Zentrum an der Universitätsklinik Tübingen unter der Betreuung von Prof. Dr. rer. nat. Hubert Preißl durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Prof. Dr. rer. nat. Hubert Preißl (habilitierter Doktorvater) in Zusammenarbeit mit PD Dr. rer. nat. Stephanie Kullmann (habilitierte Betreuerin) und mir, Eric Schopf (Doktorand).

Sämtliche Versuche wurden nach Einarbeitung durch die Labormitglieder Maike Borutta und Maike Hege von mir in Zusammenarbeit mit Maike Borutta durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte durch mich nach Anleitung und in Rücksprache mit PD Dr. rer. nat. Stephanie Kullmann (habilitierte Betreuerin) und Dr. Ralf Veit.

Ich versichere, die vorliegende Arbeit selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Anteilig wurden bestimmte Inhalte dieser Arbeit bereits durch Veit et al. (2021) publiziert.

Tübingen, den 06.03.2023

Eric Schopf