

Aus der Klinik für Psychiatrie and Psychotherapie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Zusammenhang zwischen präfrontaler corticaler Dicke und der Ausprägung distinkter Impulsivitätsfaktoren

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät

Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Hélène Caroline Bretschneider

aus Berlin

Datum der Promotion: 09.09.2016

Zusammenfassung

Impulsivität ist eine grundlegende Persönlichkeitseigenschaft des Menschen, die sowohl das Verhalten Gesunder als auch die Symptomatik psychiatrischer Patienten moduliert (Moeller, Barratt, Dougherty, Schmitz und Swann, 2001). Ein genaues Verständnis dieser Eigenschaft und ihrer biologischen Grundlagen ist für Prävention, Diagnostik und Therapie vieler Erkrankungen daher von großer Bedeutung.

Ich untersuchte im Rahmen eines großen Forschungsprojektes an 102 gesunden Probanden zwischen 18 und 35 Jahren mittels MRT, ob sich Korrelate zwischen Impulsivität und corticaler Dicke (cD) des Präfrontalen Cortex (PFC) zeigen und unterschied hierbei die Faktoren Selbstbericht, Entscheidungsimpulsivität und motorische Impulsivität. Hierzu untersuchte ich mittels ROI-Analysen die Korrelation der corticalen Dicken des PFC mit den Ergebnissen der Barratt Impulsiveness Scale-11 (BIS-11, Selbstbericht), der Temporal-Discounting-Aufgabe (TDA, Entscheidungsimpulsivität) und der mittels einer Stop-Signal-Aufgabe erfassten Stop-Signal-Reaktions-Zeit (SSRT, motorische Impulsivität). Ich legte dabei einen Schwerpunkt auf die Identifizierung möglicher geschlechtsspezifischer Differenzen.

Es zeigte sich ein negatives Korrelat zwischen den Ergebnissen der TDA und der corticalen Dicke des linken Superiorfrontalen Gyrus (SFG) ($p < 0,05$). Männer zeigten für die TDA negative Korrelate im linken SFG, dem rostralen Mittleren Frontalen Gyrus (MFG) sowie der Pars Triangularis und Orbitalis des Inferioren Frontalen Gyrus (IFG). Frauen zeigten ein positives Korrelat zwischen BIS-11 und rechtem caudalen MFG sowie ein negatives Korrelat zwischen SSRT und linkem lateralem Orbitofrontalen Cortex (OFC). Signifikante Geschlechtsdifferenzen der Korrelate zeigten sich linkshemisphärisch für die TDA im IFG (Pars Triangularis und Pars Orbitalis) und den rostralen MFG sowie für die SSRT im medialen OFC.

Ich berücksichtigte bei meiner Untersuchung zu den corticalen Korrelaten des PFC mit Impulsivität erstmals drei distinkte Impulsivitätsfaktoren und konnte zeigen, dass diese unabhängig voneinander sind und eigene corticale Korrelate aufweisen. Es zeigte sich erstmals, dass die corticale Dicke des linken SFG mit Entscheidungsimpulsivität korreliert. Es zeigten sich signifikante Geschlechtsdifferenzen der corticalen Korrelate von PFC und Impulsivität. In zukünftigen Untersuchungen sollten diese beachtet werden, um deutlichere und vor allem spezifischere Erkenntnisse über die Korrelation corticaler Dicke mit Impulsivität zu gewinnen.

Schlagwörter: Impulsivität, Präfrontaler Kortex, corticale Dicke, Belohnungsaufschub, Barratt Impulsivness Scale-11, Temporal-Discounting-Task/-Aufgabe, Stop-Signal-Task/-Aufgabe, Stroop-Aufgabe/-Aufgabe, Geschlechtsdifferenz

Abstract

Impulsiveness is a fundamental human personality trait, which modulates the behaviour of the healthy and the pathology of psychiatric patients (Moeller, Barratt, Dougherty, Schmitz, and Swann, 2001). Therefore, an accurate understanding of this trait and its biological foundation is of great importance for the prevention, diagnosis, and therapy of many diseases.

I examined in the scope of a joint research project 102 healthy subjects aged between 18 and 35 using MRI and searched for correlations between impulsiveness and cortical thickness of the prefrontal cortex (PFC). I differentiated between the impulsiveness factors: self-report, decision impulsiveness, and motor impulsiveness. For this purpose, I checked by means of ROI analysis the correlations between the cortical thickness of the PFC and the results of Barratt's impulsiveness scale 11 (BIS-11, self-report), the temporal discounting Task (TDT, decision impulsiveness), and the stop signal reaction time (SSRT) in a stop task (motor impulsiveness). I focused on identifying potential gender-specific differences.

A negative correlation was found between the results of the TDT and the cortical thickness of the left superior frontal gyrus (SFG) ($p < 0.05$). Men showed negative correlations between their TDT results and the cortical thickness of their left SFG, the rostral middle frontal gyrus (MFG), and the inferior frontal gyrus (IFG) pars triangularis and orbitalis. Women showed a positive correlation between their BIS-11 results and the cortical thickness of their right caudal MFG; and a negative correlation between their SSRT results and the cortical thickness of their left lateral orbitofrontal cortex (OFC). Significant gender-specific differences were found for the correlation between the TDT results and the cortical thickness of the left IFG (pars triangularis and pars orbitalis) and the rostral MFG; and for the correlation between the SSRT results and the cortical thickness of the medial OFC.

This analysis regarding the correlations between impulsiveness and the cortical thickness of the PFC considered for the first time all three distinctive impulsiveness factors. The analysis showed that these factors are independent from each other and exhibit particular cortical thickness correlations. It could be shown for the first time that the cortical thickness of the left SFG correlates with decision impulsiveness. Furthermore, novel significant gender-specific differences regarding the correlation between impulsiveness and cortical thickness of the PFC were discovered. Those differences should be considered in future studies regarding this topic.

Keywords: Impulsivity, prefrontal cortex, cortical thickness, delay of gratification, barratt impulsiveness scale-11, temporal discounting task, stop signal task, stroop task, sex differences

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	12
1.1 Der Präfrontale Cortex	13
1.1.1 Einteilung des Präfrontalen Cortex nach Desikan-Killiany	14
1.1.2 Besonderheiten des Präfrontalen Cortex	14
1.1.3 Messung corticaler Dicke im PFC	15
1.2 Impulsivität	16
1.2.1 Impulsivität-Definition	16
1.2.1.1 Selbstberichtete Impulsivität – Barratt Impulsiveness Scale.....	18
1.2.1.2 Entscheidungsimpulsivität – Temporal-Discounting-Aufgabe	20
1.2.1.3 Motorische Impulsivität – Stop-Signal-Aufgabe.....	22
1.2.2 Bedeutung und Folgen der Impulsivität	23
1.2.3 Selbstkontrolle.....	24
1.2.4 Integrierende Modelle von Impulsivität und Selbstkontrolle.....	25
1.2.4.1 Duales System von Hofmann	26
1.2.5 Impulsivität und Präfrontaler Cortex.....	26
1.2.6 Forschungsstand: Neuronale Korrelate der Impulsivität.....	27
1.2.6.1 Bedeutung des Orbitofrontalen Cortex für Impulsivität.....	31
1.2.6.2 Bedeutung des Mittleren Frontalen Gyrus für Impulsivität	33
1.2.6.3 Bedeutung des Superioren Frontalen Gyrus für Impulsivität.....	34
1.2.6.4 Bedeutung des Inferioren Frontalen Gyrus für Impulsivität	35
1.2.7 Geschlecht und corticale Dicke.....	36
1.2.8 Geschlecht, Impulsivität und corticale Dicke	36
1.3 Herleitung der Fragestellung.....	38
1.4 Hypothesen.....	39
2. Methoden	41
2.1 Willpower-Studie	41
2.2 Probanden.....	41
2.3 Datenerhebung	42
2.3.1 Die Barratt Impulsiveness Scale-11	44
2.3.2 Die Temporal-Discounting-Aufgabe.....	45
2.3.3 Die Stop-Signal-Aufgabe	47
2.3.4 Messung der corticalen Dicke	50
2.4 Datenanalyse	51
2.4.1 FreeSurfer.....	51
2.4.1.1 Statistische Auswertung der Cortexdicke und Korrelate.....	52

3. Ergebnisse	54
3.1 Deskriptive Statistik.....	54
3.1.1 Überprüfung der Normalverteilung.....	54
3.1.2 Ergebnisse der psychometrischen Tests.....	55
3.2 Partielle Korrelationen von Cortexdicke und psychometrischen Tests	57
3.2.1 Superiorer Frontaler Gyrus.....	58
3.2.1.1 SFG und BIS-11	58
3.2.1.2 SFG und Temporal Discounting.....	59
3.2.1.3 SFG und Stop Signal Reaction Time.....	59
3.2.2 Mittlerer Frontaler Gyrus	60
3.2.2.1 MFG und BIS-11	60
3.2.2.2 MFG und Temporal Discounting	61
3.2.2.3 MFG und Stop Signal Reaction Time	62
3.2.3 Orbitofrontaler Cortex.....	62
3.2.3.1 OFC und BIS-11	62
3.2.3.2 OFC und Temporal Discounting	63
3.2.3.3 OFC und Stop Signal Reaction Time	63
3.2.4 Inferiorer Frontaler Gyrus	64
3.2.4.1 IFG und BIS-11	64
3.2.4.2 IFG und Temporal Discounting.....	64
3.2.4.3 IFG und Stop Signal Reaction Time	66
3.2.5 Überblick der signifikanten Testergebnisse	66
3.3 Korrelation der Impulsivitätsfaktoren untereinander.....	67
3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	68
4. Diskussion	70
4.1 Diskussion Ergebnisse	71
4.1.1 Hinweis zur Signifikanz.....	71
4.1.2 Corticale Korrelate der psychometrischen Tests.....	71
4.1.2.1 Negatives Korrelat: SFG links und TDA	71
4.1.2.2 Negatives Korrelat: beidseitiger SFG und TDA Männer	72
4.1.2.3 Negatives Korrelat: linker MFG und TDA Männer	73
4.1.2.4 Negatives Korrelat: linker IFG und TDA Männer	73
4.1.2.5 Positives Korrelat: linker caudaler MFG und BIS Frauen	74
4.1.2.6 Negatives Korrelat: rechter lateraler OFC und SSRT Frauen	76
4.1.3 Korrelation der corticalen Dicke des rechten IFG mit der SSRT	77
4.1.4 Geschlechtsspezifische Differenzen der Korrelationen	78

4.1.5	Impulsivität als multifaktorielles Konstrukt distinkter Faktoren	79
4.2	Methoden	80
4.2.1	Probanden.....	80
4.2.2	Testungen	80
4.2.3	Auswertung	82
4.2.4	Stärken.....	83
4.2.5	Limitationen	84
4.2.6	Ausblick	86
4.3	Zusammenfassung und Fazit.....	87
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang.....	104
	Danksagung	119
	Lebenslauf.....	120
	Eidstattliche Erklärung	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung des PFC in dlPFC, dmPFC, vlPFC und orbitalen PFC	13
Abbildung 2: Hirnareale nach Desikan-Killiany	14
Abbildung 3: Temporal Discounting (nach McClure, Podos und Richardson, 2014).....	21
Abbildung 4: Schema Stop-Signal-Aufgabe.....	23
Abbildung 5: Instruktion und Ablauf der TDA	46
Abbildung 6: Schema der Stroop-Stop-Aufgabe	50
Abbildung 7: Berechnung der Distanz zwischen weißer Masse und Hirnhaut	51
Abbildung 8: Mittelwerte der Barrat Impulsiveness Scale	55
Abbildung 9: Rangtransformierte k-Werte der Temporal-Discounting-Aufgabe	56
Abbildung 10: SSRT	56
Abbildung 11: Superiorer Frontaler Gyrus	58
Abbildung 12: Korrelation SFG / TDA	59
Abbildung 13: Rostraler und caudaler Mittlerer Frontaler Gyrus	60
Abbildung 14: Korrelation cMFG / BIS-Gesamt.....	60
Abbildung 15: Korrelation rMFG / BIS-Gesamt.....	61
Abbildung 16: Korrelation: rMFG / TDA	61
Abbildung 17: Korrelation cMFG / TDA	62
Abbildung 18: Medialer und lateraler Orbitofrontaler Cortex.....	62
Abbildung 19: Korrelation IOFC / SSRT	63
Abbildung 20: Korrelation mOFC / SSRT	64
Abbildung 21: Inferiorer Frontaler Gyrus.....	64
Abbildung 22: Korrelation IFG-Pars Orbitalis / TDA.....	65
Abbildung 23: Korrelation IFG-Pars Opercularis / TDA	65
Abbildung 24: Korrelation IFG-Pars Triangularis / TDA	66
Abbildung 25: Boxplot TD	111
Abbildung 26: Boxplot TD ohne Ausreißer.....	111
Abbildung 27: Boxplot der Rangwerte TD.....	111
Abbildung 28: Boxplot SSRT	111
Abbildung 29: Boxplot BIS-Gesamt.....	111
Abbildung 30: Boxplot BIS-Attentional.....	111
Abbildung 31: Boxplot BIS-Motor.....	112
Abbildung 32: Boxplot BIS-Nonplanning	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Duale Systeme und mit ihnen assoziierte Hirnareale	25
Tabelle 2: Präfrontale Korrelate der Impulsivität – aktueller Forschungsstand	29
Tabelle 3: Gruppenstatistiken und t-Tests	57
Tabelle 4: Negative Korrelationen und Geschlechtsdifferenzen TDA und PFC	66
Tabelle 5: Positive Korrelation BIS und PFC	67
Tabelle 6: Negative Korrelation und Geschlechtsdifferenz SSA und PFC	67
Tabelle 7: Korrelationen der psychometrischen Tests untereinander	68
Tabelle 8: Tests auf Normalverteilung der psychometrischen Skalen.....	110
Tabelle 9: Test auf Normalverteilung der rechten PFC-Areale	110
Tabelle 10: Test auf Normalverteilung der linken PFC-Areale.....	110
Tabelle 11: t-Test der psychometrischen Impulsivitäts-Variablen	112
Tabelle 12: Partielle Korrelationen SSRT	113
Tabelle 13: Partielle Korrelationen BIS-Gesamt	114
Tabelle 14: Partielle Korrelationen BIS-Attentional	115
Tabelle 15: Partielle Korrelationen BIS-Nonplanning.....	116
Tabelle 16: Partielle Korrelationen BIS-Motor	117
Tabelle 17: Partielle Korrelationen Temporal Discounting.....	118

Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeits-Hyperaktivitäts-Defizit-Syndrom
BART	Balloon Analogue Risk Task
BIS-11	Barratt Impulsiveness Scale-11
cACC	Caudaler Anteriorer Cingulärer Cortex
CCI	Cloninger Character Inventory
cD	Corticale Dicke
cMFG	Caudaler Mittlerer Frontaler Gyrus
dIPFC	Dorsolateraler Präfrontaler Cortex
FDR	False Discovery Rate
fMRT	Funktionelle Magnetresonanztomographie
FP	Frontal Pole
IFG	Inferiorer Frontaler Gyrus
IFG-POp	Inferiorer Frontaler Gyrus-Pars Opercularis
IFG-POrb	Inferiorer Frontaler Gyrus-Pars Orbitalis
IFG-PT	Inferiorer Frontaler Gyrus-Pars Triangularis
K-DDA	Kirbys Delay-Discounting-Aufgabe
IOFC	Lateraler Orbitofrontaler Cortex
MFG	Mittlerer Frontaler Gyrus
mOFC	Medialer Orbitofrontaler Cortex
MRT	Magnetresonanztomographie
OFC	Orbitofrontaler Cortex
PBS	Pediatric Behavior Scale
PFC	Präfrontaler Cortex
rACC	Rostraler Anteriorer Cingulärer Cortex
rMFG	Rostraler Mittlerer Frontaler Gyrus
ROI	Region of interest (Bereich von Interesse)
SFG	Superiorer Frontaler Gyrus
SSA	Stop-Signal-Aufgabe
SSRT	Stop Signal Reaction Time (Stop-Signal-Reaktions-Zeit)
TCI	Temperament and Character Inventory
TCI-(R-1)	Temperament and Character Inventory (Revised-1)
TD	Temporal Discounting

TDA	Temporal-Discounting-Aufgabe
TMS	Transmagnetische Stimulation
TPQ	Tridimensional Personality Questionnaire
vlPFC	Ventrolateraler Präfrontaler Cortex
vmPFC	Ventromedialer Präfrontaler Cortex

1. Einleitung

Impulsivität ist sowohl als Risikofaktor als auch als Symptom zahlreicher psychiatrischer Pathologien von höchster Bedeutung. So gehen unter anderem Abhängigkeitserkrankungen (Jentsch, Ashenhurst, Cervantes, Groman, James und Pennigton, 2014; Crews und Boettinger, 2009; Kirby und Petry, 2003; Perry und Carroll, 2008), die Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung (ADHS) (Roberts, Peters, Adams, Lynam und Milich, 2014; Schachar, Mota, Logan, Tannock und Klim, 2000) und Essstörungen (Boisseau, Thompson-Brenner, Caldwell-Harris, Pratt, Farchione und Barlow, 2012; Garrido und Subirá, 2013; Gerlach, Herpetz und Loeber, 2015; Seitz et al., 2013) mit erhöhter Impulsivität einher. Während dank Läsionsstudien und Fallberichten gut belegt ist, dass der Präfrontale Cortex¹ (PFC) eine für das Verständnis von Impulsivität zentrale Struktur darstellt, herrschen jedoch sowohl zum Begriff der Impulsivität selbst als auch zu ihren spezifischen corticalen Korrelaten Kontroversen. Denn trotz zahlreicher Untersuchungen an psychiatrischen, vor allem substanzabhängigen Patienten sind strukturelle Bildgebungsstudien an gesunden Erwachsenen zu Korrelaten corticaler Dicke und Impulsivität noch immer rar und die Befunde heterogen (Schilling, Kühn, Romanowski, Schubert, Kathmann und Gallinat, 2012).

Obwohl große Evidenz dafür herrscht, dass es sich bei der Impulsivität um ein multifaktorielles Konstrukt handelt (Barratt, 1985; Evenden, 1999), blieben bisherige Studien zu corticalen Korrelaten der Impulsivität mit wenigen Ausnahmen auf die Erfassung einzelner Impulsivitätsfaktoren beschränkt (Broos et al., 2012). So wurde bisher nicht untersucht, ob sich für die einzelnen Impulsivitätsfaktoren spezifische präfrontale Strukturkorrelate finden lassen. Zudem wurden selbst für einzelne Impulsivitätsfaktoren geschlechtsspezifische Besonderheiten in bisherigen Studien zu corticalen Impulsivitätskorrelaten kaum berücksichtigt. Daher gibt es bisher keine Erkenntnisse darüber, ob Männer und Frauen im PFC ähnliche corticale Strukturkorrelate zu Impulsivität und deren einzelnen Faktoren aufweisen oder es hier Differenzen gibt, obwohl Kenntnisse darüber für ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge von großer Bedeutung sein könnten.

Im folgenden Einleitungsteil werden die Themen „Präfrontaler Cortex“ und „Impulsivität“ zunächst getrennt und dann in ihrer Beziehung zueinander vorgestellt. Darauf aufbauend wird der

¹ Ich entschied mich in dieser Arbeit für die lateinisch/englische Schreibweise von „Cortex“, um Diskrepanzen zu den wissenschaftlich etablierten Abkürzungen corticaler Areale (wie beispielsweise PFC, OFC) zu vermeiden.

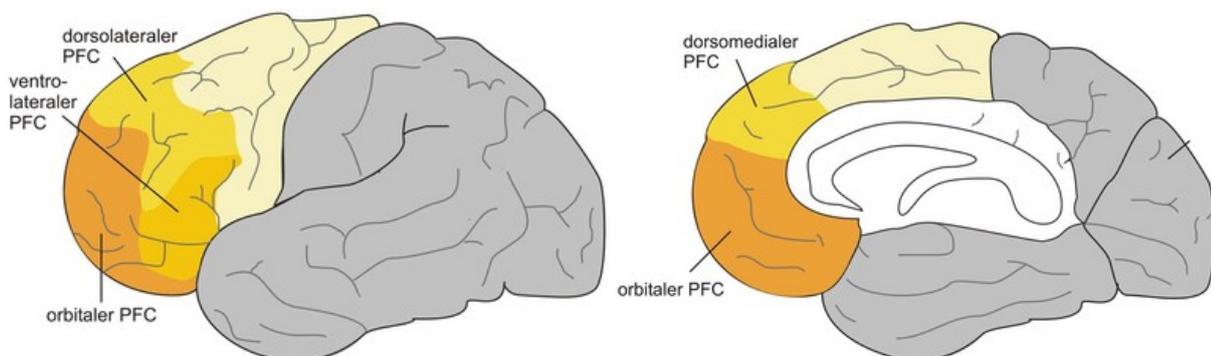
aktuelle Wissensstand zu corticalen Korrelaten der Impulsivität und deren geschlechtsspezifischen Besonderheiten vorgestellt. Auf dieser Grundlage erfolgen die Entwicklung der Fragestellung und die Präsentation der Hypothesen.

1.1 Der Präfrontale Cortex

Der im vorderen Bereich des Frontallappens lokalisierte Präfrontale Cortex (PFC) grenzt caudal an den Prämotorischen Cortex und nimmt wiederum über 30% des Frontallappens ein. Damit ist der PFC beim Menschen im Vergleich zu anderen Spezies überproportional ausgeprägt. Unterteilt wird er in einen orbitofrontalen bzw. ventromedialen, einen dorsolateralen, dorsomedialen sowie einen ventrolateralen Anteil (siehe Abbildung 1). Innerhalb dieser größeren Unterteilung gibt es verschiedene genauere Spezifizierungen der PFC-Areale wie die Brodmann-Areale oder die Areale des Desikan-Killiany-Atlas, dessen Einteilungen in dieser Arbeit verwendet und nachfolgend genauer vorgestellt werden (Desikan et al., 2006).

Der Präfrontale Cortex gilt als wesentlicher Sitz von Intelligenz, Gedächtnis, Verhaltens- und Emotionsregulation sowie Entscheidungsprozessen. Trotz eindrucksvoller Läsionsstudien wird der PFC jedoch nicht als alleiniges Substrat exekutiver und emotionaler Funktionen betrachtet. Seine Bedeutung scheint darüber hinausgehend in der Vielzahl der Konnektionen mit anderen subcorticalen und corticalen Regionen begründet zu sein. So unterhält der PFC reziproke Konnektionen mit beinahe allen anderen corticalen und subcorticalen Regionen (Szczepanski und Knight, 2014). Auf die spezifischen Funktionen einzelner Areale des PFC wird in den Abschnitten 1.2.6.1 – 1.2.6.4 eingegangen.

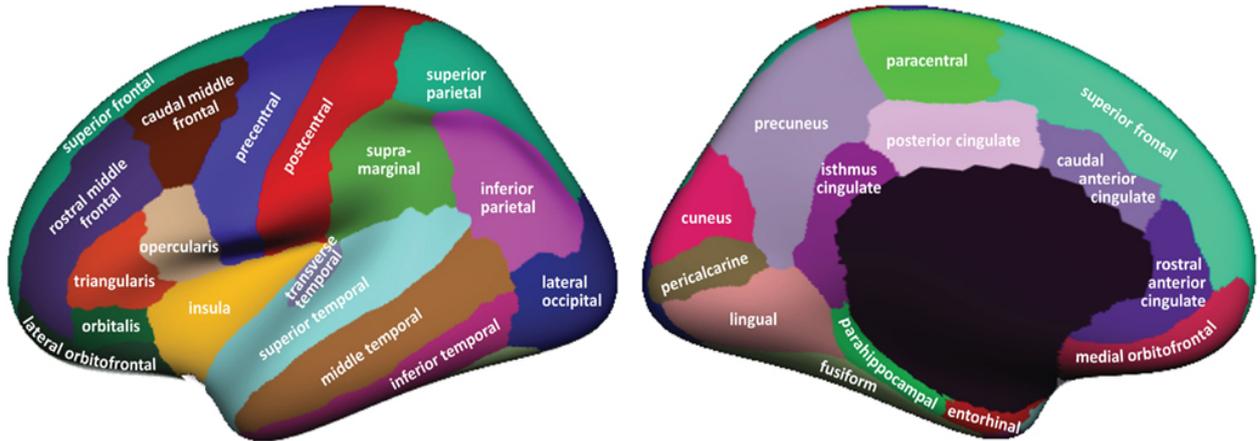
Abbildung 1 zeigt die grobe Einteilung des PFC in dorsolateralen, dorsomedialen, ventrolateralen und orbitalen Anteil.



(Quelle: <http://www.gehirnernen.de/gehirn/das-groebirn/die-groebhirnrinde-neo-oder-isocortex/>)

Abbildung 1: Einteilung des PFC in dlPFC, dmPFC, vlPFC und orbitalen PFC

1.1.1 Einteilung des Präfrontalen Cortex nach Desikan-Killiany



(Quelle: http://media.mindboggle.info/images/data/DKT_labels_width400px.png)

Abbildung 2: Hirnareale nach Desikan-Killiany

Die funktionell-anatomische Unterteilung des PFC variiert in der Literatur. In dieser Arbeit wird die Einteilung des Desikan-Killiany-Atlas verwendet, die folgende präfrontale Strukturen benennt (siehe Abbildung 2) (Desikan et al., 2006).

- Superiorer Frontaler Gyrus (SFG)
- Rostraler und caudaler Mittlerer Frontaler Gyrus (rMFG, cMFG)
- Inferiöer Frontaler Gyrus, -Pars Opercularis, -Triangularis und -Orbitalis (IFG-POp, IFG-PT, IFG-POrb)
- Lateraler und medialer Orbitofrontaler Cortex (IOFC, mOFC)
- Frontaler Pol (FP, nicht bezeichnet in Abbildung 2)
- Rostraler und caudaler Anteriorer Cingulärer Cortex (rACC, cACC)

1.1.2 Besonderheiten des Präfrontalen Cortex

Der Präfrontale Cortex, der häufig als „Sitz der Seele“ bezeichnet wird, weist über seine einzigartigen Funktionen hinaus Besonderheiten in Entwicklung und Struktur auf. So nimmt er schon ontogenetisch eine Sonderstellung im Gehirn ein: Die Myelinisierung des Präfrontalen Cortex ist erst mit 21 Jahren abgeschlossen – sehr viel später als in anderen Hirnarealen (Jansen und Stephani, 2007). Auch im Aufbau selbst unterscheidet sich dieser Bereich von anderen Hirnarealen. So besitzt der PFC, im Gegensatz zum restlichen frontalen Cortex, mit einer zusätzlichen sogenannten granulären Schicht einen im Cortex einzigartigen sechsschichtigen Aufbau, der ihn deutlich von den agrulären motorischen und prämotorischen Arealen unterscheidet

(Goebel, 2007; Petrides, 2005). Diese granuläre Schicht ist nicht überall gleich ausgeprägt, sondern weist einen rostrocaudalen Gradienten auf, der mit spezifischen Funktionalitäten einhergeht. Diese führten verschiedene Autoren zur der Annahme einer hierarchischen Organisation präfrontaler Strukturen (Christoff und Gabrielli, 2000; Fletcher und Henson, 2001; Koechlin, Ody und Kouneiher, 2003). So postulierten Christoff und Gabrielli nach einer im Jahr 2000 durchgeführten Metaanalyse das vielbeachtete Modell einer dreistufigen, hierarchischen Verschaltung von vlPFC, dlPFC und frontopolarem PFC (Goebel, 2007). Demnach sei der vlPFC vor allem für die Aufrechterhaltung von Informationen, das sogenannte Arbeitsgedächtnis, zuständig. Sobald äußere Informationen dazukämen, würde der dlPFC – hierarchisch höhergestellt – dazugeschaltet, bis dann im frontopolen PFC als höchste Stufe die Kontrolle und Verarbeitung internaler Einflüsse stattfände (Christoff und Gabrielli, 2000). Obwohl dieses Modell nicht unumstritten ist, fanden auch andere Wissenschaftler wie Fletcher und Henson (Fletcher und Henson, 2001) oder Koechlin (Koechlin et al., 2003) Hinweise für eine dreistufig hierarchisch organisierte PFC-Funktion (für einen detaillierten Überblick siehe Goebel, 2007).

1.1.3 Messung corticaler Dicke im PFC

Die Messung corticaler Dicke ist ein relativ neues, rasch wachsendes Forschungsfeld. Die Erfassung der Korrelation zwischen corticaler Dicke und bestimmten Eigenschaften oder Fähigkeiten eröffnet, neben der funktionellen Magnetresonanztomographie und anderen funktionell bildgebenden Verfahren, eine weitere Möglichkeit der anatomischen Zuordnung neuronaler Funktionen. Neben den Möglichkeiten longitudinaler Untersuchungen zur Hirnentwicklung bei Gesunden oder zur Erfassung von Krankheitsverläufen ist es ein wesentliches Forschungsziel, zukünftig diagnostische oder sogar prognostische Hinweise über die Messung corticaler Dicke gewinnen zu können.

Der Cortex des gesunden menschlichen Gehirns weist eine mittlere Dicke von 3 mm auf, die jedoch zwischen 1 und 4,5 mm variieren kann. Der dünnste Cortex findet sich mit ungefähr 2 mm im calcarinen Cortex und der dickste mit 4 mm im präzentralen Gyrus (Jones, Buchbinder und Aharon, 2000). Die Dicke der grauen Substanz hängt vom jeweiligen Areal ab und weist eine hohe inter- und intraindividuelle Variabilität auf.

Nach dem Prinzip „use it or lose it“ besteht literaturbasierte Evidenz dafür, dass neuronale Beanspruchung, ähnlich dem Muskelaufbau, zu erhöhter corticaler Dicke führen kann. So konnten bei

langjährig meditierenden Probanden signifikant positiv korrelierte Veränderungen corticaler Dickenwerte gegenüber Vergleichsgruppen gefunden werden (Kang et al., 2013). Analog dazu konnten zahlreiche Studien überwiegend negative Korrelate der corticalen Dicke zu einer Fülle neurologisch-psychiatrischer Erkrankungen nachweisen: so zum Beispiel für mit impulsiven Symptomen einhergehende Pathologien wie Abhängigkeitserkrankungen (Ersche, Barnes, Jones, Morein-Zamir, Robbins und Bullmore, 2011), Zwangsstörungen (Kühn, Kaufmann, Simon, Endrass und Gallinat, 2013), die Borderline-Persönlichkeitsstörung (Bøen et al., 2014), das Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Syndrom (Mostofsky, Cooper, Kates, Denckla und Kaufman, 2002) oder der Morbus Alzheimer (Di Paola et al., 2010; Thompson et al., 1998). Hier werden die Defizite der Impulskontrolle, um im Bild zu bleiben, mit einer corticalen Atrophie bzw. einer mangelnden corticalen Dicke in Verbindung gebracht. Dennoch finden einige Studien auch umgekehrte Zusammenhänge zwischen Pathologien und corticaler Dicke von Hirnregionen (Ersche et al., 2011). Hier zeigen Patienten im Vergleich mit gesunden Kontrollpersonen also erhöhte corticale Dicken präfrontaler Regionen. In diesen Fällen werden vor allem kompensatorische Mechanismen vermutet, die den Widerspruch der Ergebnisse untereinander zum Teil erklären und aufheben würden. Dennoch ist noch nicht ausreichend verstanden, warum einige Defizite mit verminderter, andere aber mit vermehrter corticaler Dicke einhergehen.

Seit die große Bedeutung von Impulsivität für zahlreiche Pathologien zunehmend erkannt wird, gewinnt nun auch die Erforschung der Korrelationen corticaler Dicke und Impulsivität stark an Bedeutung.

1.2 Impulsivität

1.2.1 Impulsivität-Definition

Trotz des großen und wachsenden Forschungsinteresses gibt es bis heute kein einheitliches Impulsivitätskonzept. Gemeinsam ist so gut wie allen Konzepten die Auffassung, dass es sich bei der Impulsivität um ein multifaktorielles Konstrukt aus distinkten, kaum miteinander korrelierten Komponenten handelt (Barratt, 1985; Evenden, 1999; Broos et al., 2012). Die verschiedenen Konzepte unterscheiden sich jedoch in dem detaillierteren Verständnis der Impulsivitätsfaktoren und den dafür zu verwendenden Untersuchungsverfahren, sodass ein wirklicher Konsens zu einem einzigen klar definierten Impulsivitätskonzept oder einer einheitlichen Definition aussteht.

Um sich dem zu nähern, was heute als Impulsivität verstanden wird, kann man die verschiedenen Definitionen und Konzepte der führenden Impulsivitätsforscher betrachten:

Eine bis heute wichtige Definition der Impulsivität lieferten Buss und Plomin (Buss und Plomin, 1975). Sie definierten Impulsivität als Resultat zweier unabhängiger Komponenten:

1. Schnelle und heftige Antworten auf Reize statt Zurücklehnen und Planen vor dem Handeln.
2. Widerstehen statt Nachgeben gegenüber Trieben, Impulsen und Motivationen.

Demnach resultiere eine impulsive Handlung immer aus einem Mangel an Kontrolle in Relation zur Stärke des Handlungsantriebes.

Der Persönlichkeitsforscher Eysenck definierte Impulsivität 1977 als „Handeln, ohne an Konsequenzen zu denken, Gefahren riskieren, nicht planen und Lebendigkeit“ (Eysenck und Eysenck, 1977). Hierbei unterschied er zwischen motorischer und kognitiver Impulsivität.

Barratt, dessen Fragebogen ich in dieser Studie verwendete, definierte Impulsivität, ähnlich wie Eysenck, als Neigung zu überschießenden und kognitiv wenig kontrollierten Verhaltensweisen (Barratt, 1985). Er beschrieb Impulsivität als heterogenes Konstrukt und differenzierte die drei Aspekte motorische Impulsivität, kognitive Impulsivität und nichtplanende Impulsivität.

Ohne wie Barratt eine Unterscheidung zwischen kognitiver und nichtplanender Impulsivität vorzunehmen, unterschied auch Evenden (Evenden, 1999) wie zuvor bereits Eysenck (Eysenck und Eysenck, 1977), lediglich zwischen motorischer und kognitiver Impulsivität.

Während Patton, Stanford und Barratt (Patton, Stanford und Barratt, 1995) sowie Eysenck (Eysenck und Eysenck, 1977) und Evenden (Evenden, 1999) bereits motorische und kognitive Impulsivität als zwei Hauptfaktoren unterschieden, mehrten sich in den letzten Jahren Studien, die auch den Impulsivitätsselbstbericht als distinkten Impulsivitätsfaktor betrachten (Broos et al., 2012; Reynolds, Ortengren, Richards und de Wit, 2006; Ersche et al., 2011). Deren Untersuchungen ergaben, dass der Impulsivitätsselbstbericht kaum bis gar nicht mit behavioralen und kognitiven Impulsivitätstests korreliert. Die Impulsivitätsangaben von Patienten und Probanden in Selbstberichtsfragebögen, wie etwa der hier verwendeten Barratt Impulsiveness Scale-11 (BIS-11), korrelieren also kaum mit den Ergebnissen motorischer oder kognitiver Impulsivitätstests. Aus diesen Ergebnissen folgerte Reynolds, dass der Impulsivitätsselbstbericht neben

behavioralen Tests für eine umfassende Impulsivitätserfassung notwendig ist (Reynolds et al., 2006). Broos et al. stützten diese Auffassung durch die Ergebnisse einer faktoranalytischen Studie, die drei separate Faktoren der Impulsivität identifizierte (Broos et al., 2012):

1. Selbstberichtete Impulsivität (gemessen mittels BIS-11)
2. Impulsive Aktion (u.a. gemessen mittels Stop-Signal-Aufgabe)
3. Entscheidungsimpulsivität (gemessen mittels Temporal-Discounting-Aufgabe)

Hierbei entspricht der Faktor „impulsive Aktion“ konzeptuell der motorischen Impulsivität und der Faktor „Entscheidungsimpulsivität“ der kognitiven Impulsivität. Die Erkenntnisse von Broos et al. entsprechen also den vielfältigen Hinweisen auf eine Multifaktorialität, die bereits Evenden und Barratt beschreiben, und gehen bezüglich der Erfassung des Selbstberichts als eigenem Faktor darüber hinaus. Da die Studienlage bezüglich der fehlenden Korrelation zwischen behavioralen Maßen und Selbstbericht deutlich ist, entschloss auch ich mich, den Faktor Selbstbericht als distinkten Faktor in meine Untersuchung miteinzubeziehen. Auch ich erfasste, der Faktorenanalyse von Broos et al. entsprechend, in dieser Studie die drei genannten Impulsivitätsfaktoren, wobei ich den Faktor „impulsive Aktion“ in dieser Arbeit als „motorische Impulsivität“ bezeichne. Für die Messungen nutzte ich gut etablierte Verfahren, die im folgenden Abschnitt vorgestellt werden.

1.2.1.1 Selbstberichtete Impulsivität – Barratt Impulsiveness Scale

Der Selbstbericht der Probanden über ihre Impulsivität ist ein wesentlicher Faktor, um Impulsivität umfassend zu messen. Der Ansatz hierbei ist, mittels geeigneter Fragen Informationen über Verhaltensweisen und Einstellungen des Probanden zu erhalten, die uns auf das Maß der Impulsivität schließen lassen. Obwohl Selbstberichtsfragebögen immer gewissen Einschränkungen unterliegen, werden sie vor allem im klinischen Kontext viel genutzt.

Gut validierte Tests sind beispielsweise der Tridimensional Personality Questionnaire (TPQ) (Cloninger, 1991), der daraus entwickelte Cloninger Character Inventory (CCI) (Cloninger, 1994), der in 240 Items unter anderem Persönlichkeitsmerkmale wie „Novelty Seeking“, „Harm Avoidance“, „Reward Dependence“ und „Persistence“ erfasst, oder die 24 Items beinhaltende BIS / BAS-Skala von Carver und White (Carver und White, 1994), bei der Impulsivität als Zu-

sammenspiel eines Aktivierungs- und Inhibitionssystems aufgefasst wird (behavioral activations system / behavioral inhibition system).

Der am häufigsten verwendete Selbstberichtsfragebogen (Congdon und Canli, 2008) ist jedoch die Barratt Impulsiveness Scale-11 (Stanford, Mathias, Dougherty, Lake, Anderson und Patton, 2009), die hier verwendet wurde. Die im Jahr 1959 von E. S. Barratt entwickelte Skala wurde in zahlreichen Studien validiert und weiterentwickelt (Barratt, 1985). In diesem Selbstbeurteilungsfragebogen wird von den Studienteilnehmern bewertet, inwieweit vorgegebene Aussagen zu ihrer Persönlichkeit auf sie zutreffen. Die ursprüngliche Form des BIS, die 1997 von Herpertz und Saß ins Deutsche übersetzt wurde, besteht aus insgesamt 34 Items (Herpertz und Saß, 1997). Der neu überarbeitete und von Preuß im Jahre 2003 übersetzte BIS-11 umfasst lediglich 30 Items und misst drei Subskalen (Preuss et al., 2003):

- BIS-Attentional (8 Items): Neigung, schnell zu reagieren und wenig kognitive Kontrolle auszuüben (zum Beispiel „Ich bin unaufmerksam.“).
- BIS-Motor (11 Items): Tendenz zu handeln, ohne viel darüber nachzudenken (zum Beispiel „Ich kaufe Sachen ganz spontan.“).
- BIS-Nonplanning (11 Items): Geringes Planen von Vorhaben und wenig ausgeprägtes Sicherheitsdenken (zum Beispiel „Ich bin mehr an der Gegenwart als an der Zukunft interessiert.“).

Für die Beantwortung der Items gibt es jeweils vier Antwortmöglichkeiten: „Selten / Nie“, „Gelegentlich“, „Oft“ und „Fast immer / Immer“. Patton, Stanford und Barratt zeigten 1995 in Untersuchungen an psychiatrischen Patienten, Häftlingen, Substanzabhängigen sowie Studenten eine gute interne Konsistenz für den Gesamtwert des BIS-11 (0,79 bis 0,83) (Patton et al., 1995). Preuss et al. fanden 2003 auch für die deutsche Version an einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe eine ausreichende interne Konsistenz (0,69) (Preuss et al., 2003).

Vorteile gegenüber anderen gut validierten Fragebögen sind zum einen die Kürze des Tests, zum anderen aber auch die gute Vergleichbarkeit mit anderen aktuellen Studien, die überwiegend die BIS-11 verwenden, um den Impulsivitätsfaktor mittels Selbstbericht zu erfassen.

1.2.1.2 Entscheidungsimpulsivität – Temporal-Discounting-Aufgabe

Die Entscheidungsimpulsivität ist die für medizinische Ziele wohl interessanteste Impulsivitätskomponente. Hier geht es darum, wie impulsiv oder auch kurzfristig Entscheidungen getroffen werden. Werden spätere Konsequenzen bedacht und „berechnet“ oder zählt nur der Augenblick beziehungsweise die augenblickliche Belohnung?

Solche Entscheidungen sind im Alltag vielfach zu treffen. Man muss sich entscheiden: zwischen einer gleich verfügbaren Süßigkeit und dem langfristig angestrebten Gewichts- oder Gesundheitsziel; zwischen den Möglichkeiten, eine gemütliche Pause zu machen oder aber schneller mit seiner Arbeit fertig zu sein; abends noch lange ein spannendes Buch zu lesen oder am nächsten Morgen fit zu sein. Die Liste lässt sich endlos weiterführen und zeigt, wie allgegenwärtig und bedeutend diese Impulsivitätskomponente für Patienten und gesunde Menschen ist.

Pathologischer Alkoholkonsum, exzessives Essverhalten, aber auch Zwänge, Kauf- und Spielsucht oder gesundheitlich riskantes Verhalten wie Bewegungsarmut oder nicht wahrgenommene Vorsorgeuntersuchungen sind durch vordergründig „unvernünftiges“ Verhalten charakterisiert: Dem Impuls, eine sofortige Belohnung zu erhalten bzw. unangenehme Dinge aufzuschieben, wird nachgegeben. Und zwar weil der subjektive Wert der ferneren Belohnung entwertet, also diskontiert (discounted) wird. Je weiter weg das zukünftige Ziel und je geringer die Wertdifferenz zu der verfügbaren Belohnung ist, desto eher wird man sich für die geringerwertige, aber schneller verfügbare Belohnung entscheiden. Die Neigung zur Entwertung zukünftiger Belohnungen ist allerdings individuell sehr verschieden. Diese spezifische Neigung eines Menschen, weit entfernte Dinge oder Ziele zu entwerten, wird als Maß für Entscheidungsimpulsivität gewertet.

Diese Neigung, Belohnungen zu entwerten, kann mittels verschiedener Tests erfasst werden. Gemeinsam ist den meisten dieser Tests, dass sie versuchen, den Punkt zu ermitteln, an dem dem Probanden die angebotenen Optionen „ein bestimmter Betrag jetzt“ und „ein höherer Betrag später“ als gleich wertvoll erscheinen (Indifferenzpunkt). Dieser Punkt wird sowohl durch die Wertdifferenz, die auf den höheren Gewinn zu wartende Zeit („Delay“) als auch die individuelle Diskontierungsrate bestimmt. Ich verwendete zur Ermittlung dieser spezifischen Entwertungsneigung die adaptive Temporal-Discounting-Aufgabe von Peters und Büchel (Peters und Büchel, 2009).

Dieser Test kann von den Probanden selbstständig am Computer durchgeführt werden. Sie müssen in dieser Aufgabe zwischen jeweils zwei hypothetischen Geldbeträgen wählen und können sich entweder für weniger Geld sofort oder für mehr Geld später entscheiden. Dabei sind die Differenzen bezüglich Summe und Zeit adaptiv, werden also je nach vorheriger Antwort des Probanden gewählt. So kann die individuelle Neigung der Probanden, fernere Belohnungen abzuwerten, erfasst werden. Abbildung 3 verdeutlicht, wie sich die Entwertung zeitlich entfernter Belohnung in Abhängigkeit von Impulsivität verhält. Die Kurven zeigen für einen bestimmten (für alle Kurven gleichen) Geldbetrag, wie hoch der diskontierte Wert dieses Geldbetrags in Abhängigkeit des Delays, mit dem der Betrag eingestrichen werden kann, ist. Jede Kurve stellt diesen Zusammenhang für eine andere Diskontierungsrate k dar. Ist k hoch, so entwertet der Proband viel und die Kurve ist sehr steil; entwertet der Proband wenig, ist k niedrig und die Kurve eher flach (siehe Abbildung 3).

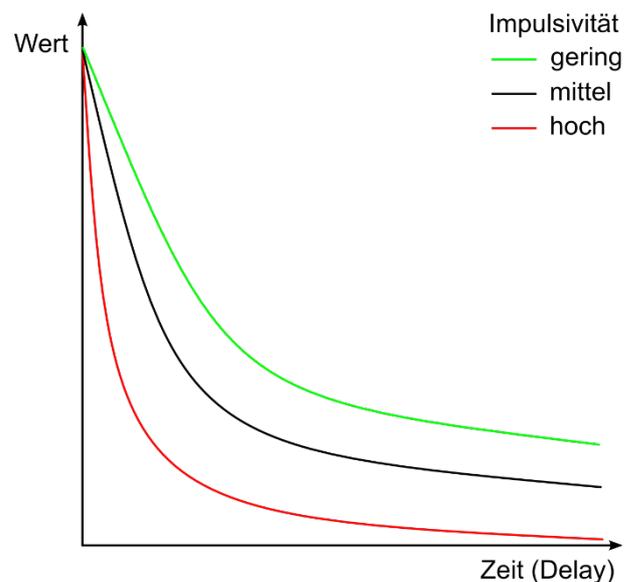


Abbildung 3: Temporal Discounting (nach McClure, Podos und Richardson, 2014)

Diese Zusammenhänge zwischen subjektivem Belohnungswert, zeitlicher Verzögerung und der persönlichen Entwertungsneigung beschreibt folgende Formel:

$$V(A) = \frac{A}{1 + kD}$$

Hierbei entspricht $V(A)$ dem subjektiven (diskontierten) Wert des Betrages A , den der Proband in der Zukunft nach einer Zeit (Delay) D erhalten könnte. k ist die persönliche Entwertungsrate. Die genaue Beschreibung des Testablaufs findet sich in Abschnitt 2.3.3.

1.2.1.3 Motorische Impulsivität – Stop-Signal-Aufgabe

Die motorische Impulsivität, auch als Handlungsimpulsivität bezeichnet, bildet schnelle Prozesse wie Bewegungen oder spontane Reaktionen ab. Im Unterschied zur Entscheidungsimpulsivität geht es hierbei nicht um das bewusste Abwägen verschiedener Optionen, sondern um rasche Reaktionen oder Bewegungen. Häufig verwendete Tests sind hier die Balloon-Analogue-Risk-Aufgabe, Go/No-go-Aufgaben sowie die Stop-Signal-Aufgabe.

Bei der Balloon-Analogue-Risk-Aufgabe (BART) müssen Probanden einen Ballon so weit aufblasen, wie sie es wagen, ohne dass er platzt. Hier wird das Risikoverhalten der Probanden erfasst. Go/No-go-Aufgaben erfordern ein schnelles Anpassen motorischer Reaktionen an wechselnde Reize – in einigen Trials muss der Proband eine Taste drücken, in anderen aber nicht. Bei Stop-Signal-Aufgaben müssen bereits begonnene motorische Impulse beim Ertönen eines Stop-Signals schnell unterdrückt bzw. abgebrochen werden.

Ich verwendete zur Messung der motorischen Impulsivität eine kombinierte Stroop- und Stop-Signal-Aufgabe. Hierbei wurde die Stop-Signal-Aufgabe nach Logan (Logan und Cowan, 1984) mit einem Farb-Stroop-Paradigma kombiniert, wobei in dieser Arbeit nur der Stop-Signal-Anteil der Aufgabe ausgewertet wird. Die Stroop-Stop-Aufgabe wurde innerhalb unserer Arbeitsgruppe entwickelt. Als Impulsivitätsmaße werden hierbei grundsätzlich sowohl die Reaktionszeitverlängerung durch inkongruente Reize (Stroop), die Fehlerzahl als auch die Stop-Signal-Reaktionszeit (SSRT) gewertet, wobei in dieser Arbeit nur die Ergebnisse des letzten Parameters vorgestellt und diskutiert werden. Die SSRT entspricht dem spezifischen Zeitpunkt nach Präsentation eines Impulssignals, bei dem die begonnene Handlung vom Probanden gerade noch unterdrückt werden kann. Dieser Zeitpunkt – also der Zeitpunkt, an dem ein akustisches Signal noch erfolgreich zum Handlungsabbruch führen kann – muss zeitlich natürlich unterhalb der Reaktionszeit des Probanden liegen. Man erhält daher die SSRT, indem man die Zeit zwischen Handlungsimpuls und Signal zur Handlungsunterdrückung von der mittleren Reaktionszeit eines Probanden abzieht. Dieser Test nähert sich der Erfassung der motorischen Impulsivität also über die Messung der Zeitkosten der Unterdrückung des Impulses. Schematisch dargestellt ist dies in Abbildung 4. Eine genaue Beschreibung des Testablaufs findet sich in Abschnitt 2.3.3.

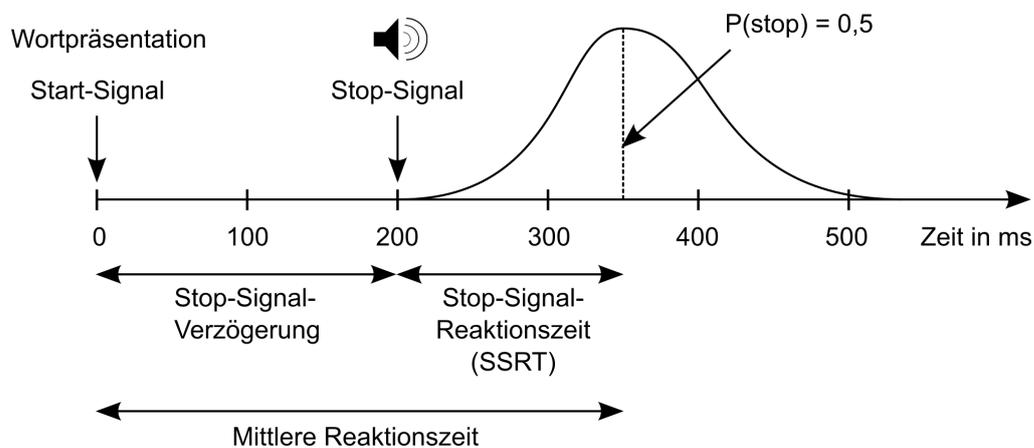


Abbildung 4: Schema Stop-Signal-Aufgabe

1.2.2 Bedeutung und Folgen der Impulsivität

Impulsivität scheint als Persönlichkeitsmerkmal von herausragender Bedeutung für den Lebensverlauf zu sein (Bader, 2009). So zeigten sich Zusammenhänge von Impulsivität und Bildungsstand (Spinella und Miley, 2003; Weithorn, Kagen und Marcus, 1984), Arbeit (Barrick und Mount, 1991), Gesundheit (Bogg und Roberts, 2004; Christensen und Smith, 1995) sowie der Häufigkeit negativer Lebenserlebnisse (Hayaki, Stein, Lassar, Herman und Anderson, 2005) und Kriminalität (de Tribolet-Hardy, Vohs, Mokros und Habermeyer, 2014). Der Impulsivität kommt jedoch nicht nur Bedeutung als Persönlichkeitsmerkmal zu, sie ist auch im Sinne einer Störung der Impulskontrolle zentrales diagnostisches Merkmal zahlreicher Störungen und damit von hoher pathologischer Relevanz. Auf dem Gebiet der Persönlichkeitsstörungen wird Impulsivität als ein überdauerndes, zentrales Persönlichkeitsmerkmal bei der antisozialen und insbesondere bei der Borderline-Persönlichkeit betrachtet und war sogar namensgebend für die ICD-10-Kategorie der „Impulsiven Persönlichkeitsstörung“. Im multiaxialen Klassifikationssystem des Diagnostischen und Statistischen Handbuchs Psychischer Störungen findet sich die Eigenschaft der Impulsivität in der Diagnose „Störungen der Impulskontrolle nicht andernorts klassifiziert“, zu denen unter anderem Störungen wie die Pyromanie, die Kleptomanie oder die Trichotillomanie zählen (Saß, Wittchen, Zaudig und Houben, 2004).

Von wesentlicher Bedeutung sind Impulsivität und einzelne Impulsivitätsfaktoren auch bei häufigen Pathologien, für die Impulsivität sowohl als prädisponierender Faktor als auch als Symptom relevant ist. Zu nennen sind hier außer den in Kapitel 1 angesprochenen Erkrankungen wie Substanzabhängigkeiten (Jentsch et al., 2014; Crews und Boettinger, 2009; Kirby und Petry, 2003; Perry und Carroll, 2008), Essstörungen (Boisseau et al., 2012; Garrido und

Subirá, 2013; Gerlach et al., 2015; Seitz et al., 2013) und ADHS (Roberts et al., 2014; Schachar et al., 2000) insbesondere Internetsucht (Lee, Choi, Shin, Lee, Jung und Kwon, 2012), Spielsucht (Dannon, Shoenfeld, Rosenberg, Kertzman und Kotler, 2010; Kräplin, Bühringer, Ossterlaan, van den Brink, Goschke und Goudriaan 2014), die Borderline-Persönlichkeitsstörung (Barker, Romaniuk, Cardinal, Pope, Nicol und Hall, 2015; Ellison, Rosenstein, Chelminski, Dalrymple und Zimmerman, 2015; Herpertz S. C. et al., 2001), bipolare Depressionen (Faedda et al., 2014; Wessa, Kollmann, Linke, Schönfelder und Kanske, 2015) sowie Suizidalität (Lin und Zhang, 2015). Impulsivere Personen zeigen zudem verstärkt „riskantes Verhalten“ (Jakubczyk et al., 2013) und haben ein höheres Risiko, eine psychiatrische Krankheit zu erleiden (Dawe und Loxton, 2004; Lombardo et al., 2012).

1.2.3 Selbstkontrolle

Obwohl es darüber Kontroversen gibt, wird Impulsivität vielfach als Gegenpol der Selbstkontrolle betrachtet (Evenden, 1999; Duckworth und Kern, 2011). Selbstkontrolle, „self-control“ oder auch „willpower“ genannt, ist – analog zur Impulsivität – ein stark wachsendes Forschungsfeld. Es wurde 1968 von Mischel mit dem berühmten Marshmallow-Test begründet (Mischel, Shoda und Rodriguez, 1989). In den Jahren 1968 bis 1974 führte dieser mit Vorschulkindern Experimente zum Belohnungsaufschub durch. In Einzelsitzungen wurde den Kindern ein begehrtes Objekt, zum Beispiel ein Marshmallow, vor Augen geführt. Der Versuchsleiter erklärte dem Kind, dass er für einige Zeit den Raum verlassen würde und dass es ihn durch das Läuten einer Glocke zurückrufen könne, um dann sofort den Marshmallow essen zu können. Wartete es aber, bis der Versuchsleiter von selbst zurückkehrte, würde es zwei Marshmallows erhalten. Die durchschnittlichen Wartezeiten der Kinder betragen in verschiedenen Abwandlungen des Experiments ca. 6 – 10 (von 15) Minuten. Das Besondere an dem Experiment war, dass Mischel in Nachbeobachtungsstudien der Jahre 1980 – 1981 herausfand, dass die Kinder als Jugendliche als umso kompetenter in schulischen und sozialen Bereichen beschrieben wurden, besser mit Frustration und Stress umgehen und Versuchungen widerstehen konnten und schulisch erfolgreicher waren, je länger sie als Kinder im Experiment gewartet hatten (Mischel et al. 1989; Shoda, Mischel und Peake, 1990). Auch zahlreiche folgende Studien bestätigten die Annahme, dass Selbstkontrolle – ganz im Gegensatz zur Impulsivität – zu einem glücklicheren und erfolgreicheren Leben führe (Mischel et al., 2011; Moffitt et al., 2011).

1.2.4 Integrierende Modelle von Impulsivität und Selbstkontrolle

Spiegelbildlich zu den Studienergebnissen bezüglich der Selbstkontrolle zeigten so gut wie alle Studien zur Impulsivität deutlich negative Effekte dieser Eigenschaft auf das Leben der Betroffenen (siehe Abschnitt 1.2.2). Obwohl ein direkter Vergleich von Selbstkontroll- und Impulsivitätsmessungen von Friese und Hofmann lediglich eine Übereinstimmung von $r = 0,6$ nachwies (Friese und Hofmann, 2009), spricht die Tatsache, dass sich langfristiges Outcome zwischen impulsiven und selbstkontrollierten Menschen ebenso spiegelbildlich zueinander verhalten wie die kurzfristigen Messergebnisse, für die Annahme zweier als Extreme eines Kontinuums miteinander konkurrierender Dispositionen. Bei der Gegenüberstellung von Impulsivität und Selbstkontrolle muss jedoch berücksichtigt werden, dass es weder zu den Begriffen selbst noch zu den diese erfassenden Messverfahren einen allgemeinen Konsens gibt.

Anknüpfend an diese schon in Freuds „Es“ und „Über-Ich“ verankerte Vorstellung zweier „Seelen in einer Brust“ wurden verschiedene duale Modelle entwickelt, nach denen Antriebs- und Hemmkraft als zwei miteinander konkurrierende Direktiven menschliches Verhalten regulierten. Diese Systeme verwenden unterschiedliche Terminologien, ähneln sich jedoch in ihren Konzepten deutlich. Beispiele solcher dualen Systeme sind das „Go-“ und „Know-System“ von Metcalfe und Mischel (Metcalfe und Mischel, 1999), das „Reflexive und Reflektive (auch X- und C-) System“ von Liebermann et al. (Liebermann, Gaunt, Gilbert und Trope, 2002), das „Reflektive und Impulsive System“ von Bechera (Bechera, 2005) oder das duale System des deutschen Psychologen Hofmann (Hofmann, Friese und Strack, 2009), auf das nachfolgend gesondert eingegangen wird. Die genannten Autoren betonten übereinstimmend die neuropsychologische Evidenz dafür, dass impulsiven und kontrollierenden Prozessen der Handlungssteuerung distinkte Hirnregionen zuzuschreiben sind. Tabelle 1 liefert einen Überblick über die von den jeweiligen Autoren als einem System assoziiert betrachteten Hirnstrukturen.

Quelle	Assoziierte Areale	
Reflexives (X) und Reflektives (C) System (Liebermann et al., 2002)	Basalganglien, Amygdala, vmPFC, dorsaler ACC	medialer Temporallappen, lateraler PFC, Parietaler Kortex, rostraler ACC
Go-/Know-System (Metcalfe und Mischel, 1999)	Amygdala	Hippocampus, PFC
Impulsives-/Reflektives System (Bechera, 2005)	Amygdala, Striatum, Hirnstamm, Hypothalamus	vmPFC, Insula, dlPFC, Hippocampus, ACC

Tabelle 1: Duale Systeme und mit ihnen assoziierte Hirnareale

1.2.4.1 Duales System von Hofmann

Für die Vorhersage mehr oder weniger impulsiven Verhaltens postulierte Hofmann nach Vorarbeiten seiner Kollegen Strack und Deutsch, dass sich zwei unabhängige intrapsychische Systeme – im Sinne einer antreibenden und einer hemmenden Kraft – gegenüberstünden und Handlungsimpulse modulierten (Strack und Deutsch, 2004; Hofmann et al., 2009). Als wesentliche Promotoren impulsiven Verhaltens stellten sich in seinen Studien besonders kognitive Belastung, Ressourcenerschöpfung, Alkoholkonsum sowie geringe Arbeitsgedächtniskapazität heraus (Hofmann et al., 2009). Er betrachtete diese Aspekte folglich als mögliche Ansatzpunkte für die Verbesserung der Selbstkontrolle durch Training und die Schaffung günstiger Bedingungen. Das Modell von Hofmann verdeutlicht, wie modulierbar und einflussabhängig individuelle Impulsivitätsausprägung ist, selbst wenn sie grundsätzlich *auch* als Persönlichkeitseigenschaft im Sinne einer überdauernden Disposition vorliegt. Dieser Aspekt beeinflusst die Impulsivitätsforschung insofern, als er zeigt, dass Impulsivität auch intraindividuell stark variieren kann.

1.2.5 Impulsivität und Präfrontaler Cortex

Messungen des Impulsivitätsverhaltens bei verschiedenen zerebralen Läsionen lieferten bereits wesentliche Hinweise zum Verständnis der Bedeutung des präfrontalen Cortex für die Impulsivität (Aron, Fletcher, Bullmore, Sahakian und Robbins, 2003; Berlin, Rolls und Kischka, 2004).

Rein organisch bedingte Impulsivitätsstörungen wie die Frontalhirndemenz, Morbus Alzheimer, Chorea Huntington, Morbus Wilson sowie Läsionen in spezifischen Frontalhirnstrukturen zeigen die Bedeutung intakter PFC-Strukturen für gelingende Impulsinhibition (Bader, 2009). All diesen Erkrankungen ist eine Schädigung des PFC gemein, die je nach genauer Lokalisation zu unterschiedlichen Symptomkomplexen führt. So unterschiedlich die aus Strukturschäden des PFC resultierenden Symptomkomplexe sein können, so sind sie doch alle durch die Beeinträchtigungen emotionaler, behavioraler sowie teilweise kognitiver Fähigkeiten charakterisiert. So äußert sich das Vollbild des Frontalhirnsyndroms, des Oberbegriffs für aus PFC-Schäden resultierende Symptomkomplexe, in Symptomen wie Apathie, emotionaler Abgeflachtheit, Witzelsucht, aber auch impulsivem Verhalten, Taktlosigkeit und Aggressivität.

Auch über die Lebensspanne lassen sich in enger Verbindung zur Hirnentwicklung unterschiedliche Impulsivitätsausprägungen betrachten (Mischel, Shoda und Rodriguez, 1992). So verhalten sich Kleinkinder quasi exemplarisch impulsiv. Obwohl sie beginnen, Umweltreaktionen zu anti-

zipieren, können sie starken Impulsen wie Gier oder Wut noch wenig entgegenzusetzen und sind in solchen Situationen kaum in der Lage, erlernte soziale Regeln im Sinne der Impulskontrolle anzuwenden. Ihr PFC ist noch nicht entwickelt genug, um die komplexe Impulskontrolle zu leisten, die wir – in Abhängigkeit unserer Dispositionen und unseres sozialen Umfelds – im späteren Leben mit unterschiedlichem Erfolg erlernen und erlangen.

Der enge Bezug von Hirnstruktur und Verhalten lässt sich am Beispiel der kindlichen Entwicklung gut veranschaulichen:

Steinbeis et al. untersuchten 2012 die Gehirne von Schulkindern zwischen 6 und 13 Jahren, die sie zuvor ein sogenanntes Ultimatumspiel spielen ließen: jeweils ein Kind durfte dabei entscheiden, wie viele der ihm gegebenen Aufkleber es einem zweiten Kind abgeben wollte (Steinbeis, Bernhardt und Singer, 2012). War das Angebot zu schlecht, durfte das zweite Kind dieses ausschlagen und beide gingen leer aus. Das erste Kind musste für sein Angebot also auch mögliches Verhalten seines Gegenübers antizipieren und eine Risikobewertung vornehmen. Die jüngsten konnten angesichts der schönen Aufkleber das Risiko des Verlustes kaum berücksichtigen und machten ihren Mitspielern sehr gewagte, also vor allem kurzfristig eigennützige Angebote.

Die Älteren hingegen zeigten weniger impulsives und damit strategisch günstigeres Verhalten. Wie das analoge „Diktator“-Spiel, in dem jedes Angebot gültig war, verriet, lag dies jedoch nicht etwa an größerer Fairness. Ältere Kinder waren vielmehr besser in der Lage, ein eventuell schlechtes Endergebnis zu berücksichtigen, sodass sie zugunsten eines sicheren, bescheideneren Gewinns auf die sofortige Belohnung in Form vieler oder aller Aufkleber verzichten konnten.

1.2.6 Forschungsstand: Neuronale Korrelate der Impulsivität

Anders als für die Faktoren motorische Impulsivität und Entscheidungsimpulsivität wurde für den Faktor selbstberichtete Impulsivität die Korrelation zur corticalen Dicke des PFC bereits mehrfach an gesunden Erwachsenen untersucht. Auch von diesen Studien ging jedoch keine der Frage nach, ob sich bei präfrontalen Korrelaten geschlechtsspezifische Differenzen finden lassen.

Die bisherigen Studien erzielten unterschiedliche, teils widersprüchliche Ergebnisse (siehe Tabelle 2). Für deren Beurteilung ist es wichtig zu wissen, dass in den verschiedenen Studien teils unterschiedliche Impulsivitätsmaße erhoben und korreliert wurden, sodass die Vergleichbarkeit

eingeschränkt ist. Da selbst Studien, die denselben Selbstberichtsfragebogen verwendeten, sehr unterschiedliche Ergebnisse hervorbrachten, liegt es nahe, nach einem weiteren Faktor zu suchen, der helfen könnte, zu spezifischeren Ergebnissen zu gelangen.

Daher möchte ich in dieser Studie, über die Untersuchung der distinkten Impulsivitätsfaktoren hinaus, mögliche geschlechtsspezifische Effekte identifizieren, um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, ob sich die Erforschung corticaler Korrelate der Impulsivität über geschlechtsspezifische Betrachtungen spezifizieren und verbessern lassen könnte.

Um einen Einblick in die aktuelle Forschungslage zu vermitteln, sind in Tabelle 2 die Studien zusammengefasst, in denen bereits die corticale Dicke des PFC in Korrelation zur Impulsivität bzw. einzelnen Impulsivitätsfaktoren gesetzt wurden. Mit einbezogen wurden auch Studien, die den Cloninger-Character-Inventory-Fragebogen nutzten, wobei hier der Faktor „novelty seeking“ als Impulsivitätsmaß mitberücksichtigt wurde, wenngleich dieser nicht ganz deckungsgleich mit dem Impulsivitätsselbstbericht mittels BIS ist. Die meisten vorliegenden Studien zu corticalen Dicke-Korrelaten der Impulsivität beschränkten sich auf Selbst- (bzw. bei den Kindern Fremd-) Bericht. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, existiert nach meinem Kenntnisstand bisher erst eine Studie, die gezielt die corticale Dicke in Bezug auf mehr als einen spezifischen Impulsivitätsfaktor gleichzeitig untersucht hätte (Cho et al., 2013), obwohl Evidenz dafür besteht, dass es sich bei der Impulsivität um ein multifaktorielles Konstrukt handelt (Broos et al., 2012; Ersche et al., 2011; Crunelle, Veltman, van Emmerik-van Oortmerssen, Booij und van den Brink, 2013). Zusätzlich zu der erschwerten Vergleichbarkeit durch unterschiedliche Testmethoden muss beachtet werden, dass Studien an Kindern bezüglich des PFC nicht ohne Weiteres auf Erwachsene übertragbar sind, da die Myelinisierung des PFC erst mit 21 Jahren abgeschlossen ist.

Autor	Probanden	Impulsivitätsmaß mit p-Wert	Korrelation cD links	Korrelation cD rechts
Lidaka et al. 2006	56 F+M	TCI (p < 0,04, SVC-korrigiert*) (NS)	+ MFG	∅
Boes et al. 2009	20 impulsive / 20 normal impulsive Jungen (7-17; Fremdbbericht)	PBS (p < 0,006; unkorrigiert)	∅	– vmPFC (OFC)
Gardini et al. 2009	85 F+M	TPQ (p < 0,5) (novelty seeking)	∅	+ SFG, MFG
Matsuo et al. 2009	63 F+M	BIS-11 (p < 0,01; FDR-korrigiert)	– OFC (Gesamt) – ACC (Gesamt) – OFC (Motor)	– OFC (Gesamt) – OFC (Nonplanning)
Van Schuerbeek et al. 2010	68 F	TCI (p < 0,001, unkorrigiert) (novelty seeking)	– IFG	
Schilling et al. 2012	32 F+M	BIS-Gesamt (p < 0,001, unkorrigiert)	– MFG, OFC, SFG	∅
		BIS-Attention (p < 0,001, unkorrigiert)	– MFG (p < 0,5, FDR-korrigiert)	– SFG, MFG
		BIS-Motor (p < 0,001, unkorrigiert)	– MFG, SFG	– OFC
		BIS-Nonplanning (p < 0,001, unkorrigiert)	– MFG	– OFC
Steinbeis et al. 2012	146 Kinder (zwischen 6 und 14)	SSRT, Strategiespiel (p < 0,001, unkorrigiert)	– dlPFC	∅
Cho et al. 2013	34 F+M	BIS-11 (p < 0,05, FDR-korrigiert)	+ ACC, dlPFC (Gesamt, Nonplanning) + MFG (Gesamt, Attentional)	+ OFC (Nonplanning) + MFG (Attentional)
		K-DDA (p < 0,05, FDR-korrigiert)	+ ACC, MFG	+ MFG, OFC, ACC
Schilling et al. 2013a	1620 Jugendliche, F/M	TCI-R-I (Monte-Carlo p < 0,5)	– SFG	∅
Schilling et al. 2013b	115 14-jährige Jungen	TCI-R-I (p < 0,001, unkorrigiert)	– OFC, MFG	– OFC, IFG-POrb

*Korrekturverfahren: SVC = Small Volume Correction, FDR = Fals Discovery Rate

Tabelle 2: Präfrontale Korrelate der Impulsivität – aktueller Forschungsstand

Es wurden 10 Studien gefunden, die sich mit dem Zusammenhang zwischen cD und Impulsivität bei Gesunden beschäftigen (Boes, Bechera, Tranel, Anderson, Richman und Nopoulos, 2009; Cho et al. 2013; Gardini, Cloninger und Venneri, 2009; Lidaka et al., 2006; Matsuo, Nicoletti, Peluso, Hatch, Nemoto und Watanabe, 2009; Schilling et al., 2013a; Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012; Steinbeis et al., 2012; Van Schuerbeek, Baeken, De Raedt, De Mey und Luybaert, 2011). Bei den in diesen Studien verwendeten Fragebögen und Testverfahren handelte es sich um folgende: den Temperament and Character Inventory (Revised-1) (TCI-(R-1)), die Pediatric Behavior Scale (PBS), den Tridimensional Personality Questionnaire (TPQ), die Barratt Impulsiveness Scale-11 (BIS-11), die Stop-Signal-Aufgabe (SSA) mit dem Maß SSRT sowie die Kirbys Delay-Discounting-Aufgabe (K-DDT).

Wie man der Tabelle entnehmen kann, finden sich der Studienlage nach Korrelationen mit beinahe allen präfrontalen Arealen. Obwohl sich zahlreiche Hinweise auf einen negativen Zusammenhang zwischen beidseitiger OFC-Dicke und Impulsivitätswerten zeigen, belegt dieser Überblick insgesamt vor allem die Uneinheitlichkeit der bisherigen Ergebnisse. Es zeigt sich, dass die bisherigen Studien bis auf die von Cho et al. jeweils nur einen Impulsivitätsfaktor erfassten und auch mögliche geschlechtsspezifische Differenzen unberücksichtigt blieben (Cho et al., 2013).

Die bisher umfangreichsten Studien zu corticalen Korrelaten der Impulsivität an Gesunden führten Schilling et al. durch (Schilling et al., 2013a; Schilling et al., 2013b; Schilling et al. 2012). Vor allem die Studien an 1620 und 115 Jugendlichen zeichneten sich gegenüber den vorherigen durch die hohe Probandenzahl und die durch Gesundheit und Alter der Probanden erreichte Substanznaivität aus. Schilling et al. untersuchten die Jugendlichen auf ihre Korrelate von selbstberichteter Impulsivität und corticaler Dicke hin und fanden insbesondere negative Korrelationen im Bereich des linken SFG (Schilling et al. 2013a; Schilling et al., 2012) sowie negative Korrelationen von Impulsivität und beidseitigem OFC (Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012). Obwohl es sich bei der Studie an 1620 Jugendlichen (Schilling et al., 2013a) um die umfangreichste Studie an gesunden Probanden zu diesem Thema handelt, muss für Vergleiche mit ähnlichen Studien jedoch berücksichtigt werden, dass hier Jugendliche untersucht wurden, deren PFC-Entwicklung noch nicht abgeschlossen war.

Trotz der teils also sehr hohen Fallzahlen bisheriger Studien wurden bisher lediglich Teilfaktoren der Impulsivität mit corticaler Dicke korreliert, obwohl Evidenz dafür besteht, dass sich Impulsivität aus distinkten Teilfaktoren zusammensetzt. So bleibt in der aktuellen Forschung zu neuro-

nalen Impulsivitätskorrelaten weiterhin unerforscht, ob und in welcher Weise Impulsivität als multifaktorielles Konstrukt distinkter Faktoren spezifische zerebrale Strukturkorrelate bei gesunden Erwachsenen aufweist und ob sich hierfür geschlechtsspezifische Differenzen zeigen.

1.2.6.1 Bedeutung des Orbitofrontalen Cortex für Impulsivität

Der Orbitofrontale Cortex bildet mit dem Frontalen Pol den rostralen Anteil des PFC und liegt dem Orbitadach auf. Caudal und superior wird der OFC von der die Pars Orbitalis des IFG sowie dem SFG begrenzt, rostral vom Frontalen Pol. Er lässt sich anhand verschiedener Konnektionen und unterschiedlicher Zytoarchitektur in einen lateralen und einen medialen Bereich unterteilen.

Ihm wird eine maßgebliche Rolle beim Belohnungslernen zugeschrieben. Besonders gut erforscht ist auch die Bedeutung des OFC für das Umlernen von bereits Erlerntem, das sogenannte „Reversal Learning“, das Patienten mit OFC-Läsionen deutlich schwerer fällt. Neben der Funktion des Umlernens scheint eine entscheidende Funktion des OFC auch in der Evaluierung zu erwartender Konsequenzen zu liegen (Steiner und Redish, 2012). Darüber hinaus ist der OFC für strategisches Denken, Entscheidungsfindung und Belohnungsaufschub von zentraler Bedeutung innerhalb verschiedener Hierarchiemodelle. Die Brodmann Area 10 (BA10), ein Teil des OFC, hat beispielsweise im Zusammenhang mit dem rostrokaudalen Gradienten des PFC eine caudaleren Arealen übergeordnete Rolle inne. So postulierten beispielsweise Christoff und Gabrielli (Christoff und Gabrielli, 2000) bezüglich der Informationsverarbeitung eine dreistufige Organisation, bei der nach der Aufrechterhaltung der Information im vlPFC und der Überwachung und Manipulation externer Informationen im dlPFC dem rostralen OFC mit der Kontrolle und Integration *interner* Reize die hierarchisch höchste Stufe zukäme. Fletcher und Henson (Fletcher und Henson, 2001) präsentierten ein auf die hierarchische Ordnung bezogen ähnliches Modell, bei dem jedoch dem der BA10 eher die Kontrolle und Bewertung der in caudaleren Anteilen verarbeiteten Informationen zukommt. Gemeinsam ist diesen und anderen hierarchischen Modellen, dass den anterioren Teilen des PFC bzw. des OFC eine kontrollierende, metakognitive Komponente zugeschrieben wird.

OFC-Läsionen führen neben gestörtem Sozialverhalten auch zu veränderter Risikobewertung im Sinne impulsiverer Entscheidungen und zu vermindertem Belohnungsaufschub – also verstärktem Temporal Discounting. Obwohl noch keine Studien zu strukturellen Korrelaten des Temporal Discountings existieren, zeigten fMRT-Studien Aktivierungen des OFC bei Belohnungsaufschub (Peters und Büchel, 2009; Peters und Büchel, 2010).

Auch für selbstberichtete Impulsivität konnten bereits mehrfach Zusammenhänge zur corticalen Dicke des linken und rechten OFC gezeigt werden (siehe Tabelle 2; Matsuo et al., 2009; Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012).

Für die motorische Impulsivität und die Fähigkeit zur Verhaltensinhibition scheint der OFC ebenfalls eine Rolle zu spielen, wenngleich hier keine Ergebnisse bezüglich der corticalen Dicke vorliegen. So zeigten Ratten mit Läsionen des OFC verlängerte Reaktionszeiten in einer Stop-Signal-Aufgabe (Eagle, Baunez, Hutcheson, Lehmann, Shah und Robbins, 2008). Durch optogenetische Stimulation des OFC war es möglich, die motorische Inhibitionsfähigkeit von Ratten zu erhöhen (Burguière, Monteiro, Feng und Graybiel, 2013), und auch fMRT-Studien an Menschen zeigten Aktivierungen des OFC bei Inhibitionsaufgaben (Chikazoe, Jimura, Hirose, Yamashita, Miyashita und Konishi, 2009).

Bis auf eine Studie von Cho et al. wurden für den OFC bisher ausschließlich negative Korrelate corticaler Dicke mit Impulsivität berichtet (Cho et al., 2013; Matsuo et al., 2009; Schilling et al., 2013a; Schilling et al., 2013b). Auch bei impulsivitätsrelatierten Pathologien zeigten sich reduzierte Volumina der grauen Substanz des OFC: linkshemisphärisch bei Patienten mit ADHS (Hesslinger, Tebartz van Elst, Thiel, Haegele, Henning und Ebert, 2002), rechtshemisphärisch bei onlinespielsüchtigen Jugendlichen (Hong et al., 2013) sowie beidseitig bei Patienten mit Zwangsstörungen (Atmaca, Yildirim, Ozdemir, Tezcan und Poyraz, 2007), Panikstörung (Atmaca, Yildirim, Gurok und Akyol, 2012) oder Schizophrenie (Kuperberg et al., 2003).

Ich gehe in Zusammenschau dieser Studienergebnisse davon aus, dass Probanden mit hoher selbstberichteter Impulsivität im Bereich des OFC über eine verminderte corticale Dicke verfügen. Die Befunde der Patientenstudien legen die Vermutung nahe, dass auch der Faktor Entscheidungsimpulsivität diesen Zusammenhang aufweisen könnte, da vor allem Abhängigkeitserkrankungen typischerweise mit verstärktem Diskontieren einhergehen. Auch für die motorische Komponente der Impulsivität erwarte ich aufgrund der oben genannten Befunde an ADHS- und Zwangspatienten sowie der diesbezüglichen Läsions- und fMRT-Studien eine negative Korrelation, also geringere corticale Dicke bei Probanden, die ihren Stop-Impuls schlecht unterdrücken können und dadurch eine höhere SSRT aufweisen.

1.2.6.2 Bedeutung des Mittleren Frontalen Gyri für Impulsivität

Dem im dorsolateralen PFC (dlPFC) liegenden Mittleren Frontalen Gyri werden als besondere Funktionen die kognitive Kontrolle sowie das Arbeitsgedächtnis zugeschrieben (Goldman-Rakic, 1995). Dieses wurde von Hofmann et al. wiederum als eine wesentliche Voraussetzung gelingender Selbstkontrolle bzw. als Risikofaktor für impulsives Verhalten bezeichnet (Hofmann, Luhmann, Fisher, Vohs und Baumeister, 2013). Eine weitere entscheidende Funktion des dlPFC, der zum größten Teil von MFG gebildet wird, liegt in der Evaluierung verschiedener Entscheidungsoptionen (Duncan und Owen, 2000). Cho et al. zeigten 2010 in einer TMS-Studie, dass die Inaktivierung des rechten dlPFC zu einer höheren Diskontierungsrate führte (Cho, Ko, Pallecchia und Van Eimeren, 2010). Dazu passend konnten verschiedene Studien zeigen, dass der dlPFC für Zeitwahrnehmung – einer für das Diskontieren entscheidenden Größe – relevant zu sein scheint (Koch, Oliveri, Carlesimo und Caltagirone, 2002; Koch, Oliveri und Torriero, 2003; Rao, Mayer und Harrington, 2001). Schilling et al. zeigten in zwei Studien mit verschiedenen Selbstberichts-Testungen (BIS-11 und TCI) einen negativen Zusammenhang von selbstberichteter Impulsivität und corticaler Dicke des linken MFG (Schilling et al., 2013a; Schilling et al., 2012), während Lidaka et al. hier von einer positiven Korrelation berichteten (Lidaka et al., 2006) und sowohl Gardini et al. als auch Matsuo et al. rechtslateral einen positiven Zusammenhang fanden (Gardini et al., 2009; Matsuo et al., 2009). Auch im Zusammenhang mit der motorischen Impulsivität ließen sich bereits corticale Korrelate zeigen. So fanden Steinbeis et al. 2012 eine negative Korrelation zwischen der SSRT und dem linken dlPFC von Kindern (Steinbeis et al., 2012).

Negative Korrelate des MFG mit Impulsivität zeigten sich auch in klinischen Studien. So zum Beispiel linkslateral für ADHS (Sasayama et al., 2010), die bipolare Störung (Lyo et al., 2006) oder rechtslateral für die Schizophrenie (Kuperberg et al., 2003).

Wenngleich die Korrelationsrichtung in den Studien differiert, finden sich doch für alle drei Faktoren Hinweise dafür, dass die corticale Dicke des MFG für sie von Bedeutung zu sein scheint. Ich erwarte trotz widersprüchlicher Vorbefunde negative Korrelationen zwischen der corticalen Dicke des MFG und den drei hier untersuchten Impulsivitätsfaktoren zu finden, gehe also davon aus, dass die Cortexdicke des MFG umso geringer ist, je impulsiver die Probanden sind.

1.2.6.3 Bedeutung des Superioren Frontalen Gyri für Impulsivität

Der Superiorfrontale Gyri befindet sich dorsal des ACC und des MFG und caudal des OFC. Er besitzt einen lateralen Teil, der dem sogenannten dorsolateralen PFC zugerechnet wird, und einen medial gelegenen Teil, der den oberen Teil der Medianwand der Hemisphären bildet und in der Literatur auch als Medianer Frontaler Gyri bezeichnet wird. Seine Funktion ist bisher weniger gut verstanden als die des OFC, er scheint jedoch ebenfalls von Bedeutung für höhere kognitive Funktionen wie kognitive Kontrolle und Arbeitsgedächtnis zu sein und gehört zum dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerk.

Schilling et al. konnten in einer Studie an 1620 Probanden eine inverse Korrelation zwischen persönlichkeitsbezogener Impulsivität nach Cloninger (einem Selbstberichtsfragebogen) und der Cortexdicke des linken lateralen SFG zeigen (Schilling et al., 2013b). Damit übereinstimmend zeigten sich auch für BIS-Gesamt, BIS-Motor und BIS-Attentional Hinweise auf eine negative Korrelation (Schilling et al., 2012). Gardini et al. beschrieben dagegen einen positiven Zusammenhang zwischen Cloningers Neugierverhalten und dem Volumen der grauen Substanz im rechten SFG (Gardini et al., 2009).

Klinische Studien zu impulsiver Symptomatik unterstreichen einen negativen Zusammenhang zwischen Impulsivität und corticaler Dicke des SFG, wenngleich sich auch hier unterschiedliche Lateralisierungen zeigten: Während sich bei pädiatrischen und erwachsenen ADHS-Patienten reduzierte corticale Dicken rechtshemisphärisch zeigten (Almeida et al., 2010), zeigten junge Erwachsene mit beginnender Alkoholproblematik (Weiland, Korycinski, Soules, Zubieta, Zucker und Heitzeg, 2014) sowie schizophrene Patienten (Tully, Lincoln, Liyanage-Don und Hooker, 2014) jeweils im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen signifikant reduzierte corticale Dicken des linken SFG. In der Studie von Tully et al. korrelierte die Dicke des linken SFG zudem nicht nur bei den Patienten, sondern auch bei der gesunden Kontrollgruppe positiv mit kognitiver Kontrolle (Tully, Lincoln, Liyanage-Don und Hooker, 2014). Beidseitig reduzierte corticale Dicken der SFGs zeigten sich bei Kindern mit einer ADHS-Diagnose (Shaw et al., 2006) und Marihuana konsumierenden Adoleszenten (Lopez-Larson et al., 2011).

Ich erwarte daher, eine negative Korrelation zwischen der corticalen Dicke des SFG und der Entscheidungsimpulsivität sowie der selbstberichteten Impulsivität zu finden. Auf Grundlage der sehr großen Studie von Schilling et al. (Schilling et al., 2013a) gehe ich für die selbstberichtete Impulsivität zusätzlich davon aus, die Lateralisierung dieser Korrelation im linken SFG repliziere-

ren zu können, während die Lateralisierung bezüglich der Entscheidungsimpulsivität aufgrund widersprüchlicher Vorbefunde nicht spezifisch erwartbar ist. Die Annahme eines möglichen Zusammenhangs zur motorischen Impulsivität ergibt sich eher indirekt durch die oben genannten Befunde von ADHS-Patienten, von denen gut belegt ist, dass sie eine stärkere motorische Impulsivität aufweisen als Gesunde (Batty et al., 2010; Lipszyc und Schachar, 2010; Oosterlaan, Logan und Sergeant, 1998).

1.2.6.4 Bedeutung des Inferioren Frontalen Gyri für Impulsivität

Der Inferiore Frontale Gyri, häufig ungenau als ventrolateraler PFC (vlPFC) bezeichnet, wird durch Sulci in drei Teile gegliedert. Von rostral nach caudal sind das die Pars Orbitalis, die Pars Triangularis und die Pars Opercularis, wobei der rostrale Teil der Pars Orbitalis ebenfalls dem dlPFC zugeordnet wird. Es besteht breite Evidenz für die Relevanz des vlPFC, im Speziellen des rechten IFG für die motorische Komponente der Impulsivität. Sowohl Läsions- als auch TMS- und fMRT- Studien haben die tragende Rolle des rechten vlPFC und hier insbesondere der Pars Triangularis des rechten IFG für motorische Impulsinhibition aufgezeigt. Läsionen in diesem Bereich erschwerten die motorische Kontrolle, wie sie beispielsweise in der Stop-Signal-Aufgabe benötigt wird. So korrelierten in einer Studie von Aron et al. Läsionen des rechten IFG als einzige Region in ihrem Ausmaß positiv mit längeren SSRTs (Aron et al., 2003). Auch weitere Studien belegen die Relevanz des IFG für motorische Inhibition in Stop-Signal-Aufgaben (Aron, Behrens, Smith, Frank und Poldrack, 2007; Aron, Robbins und Poldrack, 2004; Aron, Robbins und Poldrack, 2014a). Rae et al. konnten in einer Metaanalyse 16 funktioneller Bildgebungsstudien zeigen, dass der rechte IFG sowohl in die Aktionsauswahl als auch in die motorische Inhibition bei Stop-Signal-Aufgaben involviert ist (Rae, Hughes, Weaver, Anderson und Rowe, 2014). Auch weitere aktuelle Studien unterstützen die Annahme, dass die Funktion des IFG nicht nur in der Inhibition bereits begonnener Impulse, sondern auch in der Handlungsauswahl liegt und der IFG somit auch für das Treffen von Entscheidungen relevant ist (Chikazoe et al., 2009; Jasinska, 2013; Levy und Wagner, 2011; Swick, Ashley und Turken, 2011). Für den Faktor Selbstbericht wurden ebenfalls bereits negative Korrelate mit der corticalen Dicke des IFG gezeigt: von Schilling bezüglich des TCI-R-1 rechts und von Van Schuerbeek bezüglich des TCI links (Schilling et al., 2013b; Van Schuerbeek et al., 2011).

Auch Patientenstudien zeigten deutliche Zusammenhänge zwischen motorischer Impulsivität und der Funktionsweise und Struktur des IFG: Kinder mit ADHS zeigten eine gegenüber gesun-

den Kindern reduzierte Dicke der rechten Pars Opercularis sowie eine signifikant schlechtere Performance in einer Go-/No-go-Aufgabe (Batty et al., 2010). Eine andere Studie zeigte eine erhöhte corticale Dicke des rechten IFG (sowie des MFG) bei Trichotillomanie-Patienten, die im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe sowie einer Gruppe gesunder Verwandten zusätzlich eine schlechtere SSRT-Performance zeigten (Odlaug, Chamberlain, Derbyshire, Leppink und Grant, 2014).

Ich erwarte daher, nicht nur für den Faktor motorische Impulsivität, sondern auch für die Faktoren Entscheidungsimpulsivität und selbstberichtete Impulsivität negative Korrelate zur corticalen Dicke des IFG zu finden, wobei ich dieses den motorischen Aspekt betreffend insbesondere für den rechten IFG erwarte.

1.2.7 Geschlecht und corticale Dicke

Männer verfügen über ein etwa um 10 % größeres Gehirn als Frauen. Dies erklärt sich nicht allein aus der proportionalen Relation zur Körpergröße, sondern wurde auch in zahlreichen Studien belegt, die den Effekt der Körpergröße selbst berücksichtigten (Giedd, Raznahan, Mills und Lenroot, 2012). Doch der Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Gehirnen liegt nicht nur in der Größe, sondern auch im Aufbau und der neuronalen Struktur selbst. So scheinen Frauen in Relation zum Hirnvolumen über eine höhere Cortexdicke zu verfügen (Sowell et al., 2007; Allen, Damasio, Grabowski, Bruss und Zhang, 2003). Der sogenannte sexuelle Dymorphismus betrifft aber nicht nur die Hirnstruktur und -masse, sondern auch die longitudinale Cortexentwicklung. Beispielsweise zeigt die Entwicklung der corticalen Dicke bei Frauen ihren Peak etwa drei Jahre vor dem der Männer (Giedd et al., 2012). Trotz der großen Bedeutung solcher intersexueller Unterschiede für das Verständnis zahlreicher psychiatrischer Pathologien ist die Studienlage zu spezifischeren, sich auf einzelne Areale beziehende Differenzen jedoch recht dünn.

1.2.8 Geschlecht, Impulsivität und corticale Dicke

Die Studienlage zu geschlechtsspezifischen Impulsivitätsdifferenzen ist uneinheitlich.

Sowohl erwachsene als auch kindliche männliche Probanden zeigen in Go/No-go-Aufgaben – also Aufgaben, in denen auf bestimmte Reize reagiert, auf andere jedoch nicht reagiert werden soll – höhere Fehlerquoten als weibliche (Saunders, Farag, Vincent, Collins, Sorocco und Lovallo, 2008; Liu, Xiao & Shi, 2013). Eine besonders umfangreiche Studie an Kindern und Jugendlichen (N = 14.388) zeigte bei Kindern zwischen 6 und 18 einen signifikanten, wenn auch

geringen Geschlechtseinfluss auf die SSRT, die bei weiblichen Probanden (sowie bei jüngeren) höher war (Crosbie et al., 2013). Colzato et al. fanden ein entsprechendes Ergebnis, das allerdings nur in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus der Frau bestand (Colzato, Hertsig, van den Wildenberg und Hommel, 2010). Die SSRT-Differenz zwischen den Geschlechtern war hier umso höher, je höher der Estradiolspiegel im Speichel der Frauen war und verschwand während der Luteal- und Menstruationsphase sogar gänzlich. Andere Studien hingegen fanden keinerlei Geschlechtsunterschiede bezüglich Inhibitionsaufgaben wie der Stop- oder Go/No-go-Aufgabe (Ferne, Cole, Goudie und Field, 2010; Reynolds et al., 2006; siehe hierzu auch das Review von Weafer und de Wit, 2013).

Das Impulsivitätsmaß „Entscheidungsimpulsivität“ betreffend gibt es Hinweise auf eine höhere Impulsivität bei Frauen. So zeigten sich in zwei Studien stärkeres Diskontieren von Frauen in einer hypothetischen Temporal-Discounting-Aufgabe (Beck und Triplett, 2009; Smith und Hantula, 2008). Eine 2009 von Cross et al. durchgeführte Metaanalyse an 277 Studien ergab dagegen weder für SST noch für TDA Differenzen (Cross, Copping und Campbell, 2011).

Der Impulsivitätsfaktor Selbstbericht zeigt in einem Review von Stanford keine signifikanten Geschlechtsunterschiede (Stanford et al., 2009).

Obwohl es also Hinweise darauf gibt, dass Geschlechtsdifferenzen und Zyklusphasen der Frau die Impulsivität beeinflussen, deutet die Studienlage eher auf eine ähnliche Impulsivitätsausprägung bei Männern und Frauen hin. Unerforscht blieb bisher jedoch, ob die Korrelationsstärke zwischen Impulsivität und corticaler Dicke zwischen Männern und Frauen differiert.

Eine solche Differenz könnte je nach Ursprung dieser Korrelate entweder auf eine unterschiedliche Plastizität des Gehirns oder bei der Annahme, dass eher die Strukturen das Verhalten bedingen, auf unterschiedlich starke Kompensations- oder Regulationsmechanismen hindeuten. Dies könnte bedeuten, dass Cortexdicken bei einem Geschlecht einen geringeren Zusammenhang zur Impulsivität aufweisen als bei dem anderen. Ein solcher Zusammenhang müsste bei zukünftigen diagnostischen oder prognostischen Untersuchungen der Cortexdicke berücksichtigt werden und soll daher hier geprüft werden.

1.3 Herleitung der Fragestellung

Obwohl die Definition der Impulsivität umstritten ist, ist ihre Bedeutung für zahlreiche Pathologien und gesundheitlich relevante Verhaltensweisen evident und bietet einen potentiellen Angriffspunkt für diagnostische und therapeutische Maßnahmen. Seit den Anfängen der Impulsivitätsforschung besteht die Annahme, dass sich diese aus *mindestens* einer motorischen und einer kognitiven Komponente zusammensetzt (Evdenden, 1999; Barratt, 1985). Zahlreiche aktuelle Studien bestätigen, dass es sich bei Impulsivität um ein multifaktorielles Konstrukt handelt, zu dem auch der Faktor „Selbstbericht“ gehört (Broos et al., 2012; Crunelle et al., 2013; Ersche et al., 2011). Viele Studien belegten ebenfalls die hohe Relevanz des Präfrontalen Cortex für impulsives Verhalten und dessen Kontrolle – Impulsivitätskorrelate zeigten sich bisher vor allem im Orbitofrontalen Cortex, Mittleren Frontalen Gyrus, Superioren Frontalen Gyrus und Inferioren Frontalen Gyrus. Die bisherigen Studienergebnisse waren jedoch recht heterogen und teilweise widersprüchlich (siehe Tabelle 2).

Um den Zusammenhang corticaler Strukturen mit dem komplexen und schwer zu erfassenden Konstrukt der Impulsivität besser verstehen zu können, erhoben wir die schon von Broos et al. beschriebenen distinkten Faktoren Selbstberichtsimpulsivität, Entscheidungsimpulsivität und motorische Impulsivität an 126 gesunden Probanden (Broos et al., 2012). Ziel der Studie war es, die Impulsivität der Probanden umfassend und vor allem faktorenspezifisch zu messen und dabei mittels struktureller Magnet-Resonanz-Tomographie und ROI-Analysen erstmals Korrelate der drei distinkten Teilaspekte der Impulsivität mit präfrontaler Cortexdicke zu identifizieren. Das zweite Ziel war, mögliche Geschlechtsdifferenzen dieser Zusammenhänge aufzudecken, um, falls sich solche zeigen ließen, zusätzliche Hinweise und Ansatzpunkte für nachfolgende Studiendesigns und Ergebnisinterpretationen zu bieten.

Hierbei sollten, an bisherige Studienergebnisse anknüpfend, die Korrelationen der Cortexdicke des Orbitofrontalen Cortex, des Superioren Frontalen Gyrus, des Mittleren Frontalen Gyrus und des Inferioren Frontalen Gyrus mit den distinkten Impulsivitätsfaktoren Selbstbericht (BIS), Entscheidungsimpulsivität (TDA) und motorische Impulsivität (SSRT) korreliert werden. Aufgrund der eindeutigen Studienlage zum Zusammenhang funktioneller Aktivität im rechten IFG bei Stop-Signal-Aufgaben möchte ich gezielt untersuchen, ob sich ein solcher Zusammenhang auch in Relation zur corticalen Dicke zeigt. Ich möchte darüber hinaus erstmals prüfen, inwieweit sich die Korrelate spezifischer Impulsivitätsparameter unterscheiden oder aber überschneiden. Die

Hypothesen hierzu wurden aufgrund der divergierenden bisherigen Studienergebnisse vor allem bezüglich der Faktoren Selbstbericht und Entscheidungsimpulsivität bewusst weit gefasst.

Zusätzlich schien es für das bessere Verständnis sinnvoll, die Ergebnisse der psychometrischen Tests sowie die Korrelationen von Testergebnissen und Cortexdicke geschlechtsvergleichend zu betrachten, um so weitere Erkenntnisse über Differenzen und Gemeinsamkeiten der Geschlechter bezüglich Impulsivität und ihrer corticalen Korrelate zu gewinnen. Dieser Aspekt wurde bisher kaum berücksichtigt, obwohl er für das Verständnis bestehender und kommender Untersuchungen von großer Bedeutung sein könnte. Falls das eine Geschlecht stärkere Korrelationen zu Impulsivitätsmerkmalen zeigte als das andere, wäre es interessant, dieses auch für andere psychische Eigenschaften zu überprüfen und bei der Auswertung von diesbezüglichen Ergebnissen verstärkt zu berücksichtigen. Von Interesse ist darüber hinaus die Frage, ob und in welcher Weise die von mir – der Literatur entsprechend – als distinkt betrachteten Impulsivitätsmaße tatsächlich unabhängig voneinander sind oder ob sich hier dennoch gewisse Korrelationen untereinander zeigen lassen.

1.4 Hypothesen

Aufgrund der bestehenden Literatur erwarte ich von unserer Studie folgende Ergebnisse:

1. Bei gesunden Probanden zeigen sich negative Korrelate zwischen der Cortexdicke präfrontaler Areale und drei distinkten Impulsivitätsfaktoren: der mittels BIS-11 erfassten selbstberichteten Impulsivität, der mittels Temporal-Discounting-Aufgabe gemessenen Entscheidungsimpulsivität sowie der mittels SSRT erhobenen motorischen Impulsivität. Innerhalb des PFC erwarte ich dies literaturbasiert insbesondere für folgende ROIs:
 - den Orbitofrontalen Cortex (medialer und lateraler Teil)
 - den Mittleren Frontalen Gyrus (rostraler und caudaler Teil)
 - den Superioren Frontalen Gyrus
 - den Inferioren Frontalen Gyrus (Pars Opercularis, Orbitalis und Triangularis)
2. Die gut belegte Aktivierung im rechten IFG – ganz besonders der Pars Triangularis – bei der Ausführung von Stop-Signal-Aufgaben entsprechen in unserer Studie einer negativen Korrelation zwischen cortikaler Dicke und der SSRT.
3. Die gefundenen Korrelationen weisen geschlechtsspezifische Differenzen auf.

4. Der mittels BIS-11 gemessene Impulsivitäts-Selbstbericht, die mittels SST gemessene motorische Impulsivität und die mittels TDA gemessene Entscheidungsimpulsivität korrelieren als voneinander distinkte Faktoren nicht oder nur geringfügig miteinander.

2. Methoden

2.1 Willpower-Studie

Die Studie „Willpower“, in dessen Rahmen diese Untersuchung entstand, wurde am Institut für Mind and Brain der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte, unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Dr. Henrik Walter und Frau PD Dr. Christine Stelzel durchgeführt. Die Studie wurde von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Volition, zu der ich gehörte, durchgeführt. Während die einzelnen Mitarbeiter verschiedene Fragestellungen bearbeiteten, erfolgte die Durchführung der Studie gemeinschaftlich mit jeweils den eigenen Fragestellungen entsprechenden persönlichen Schwerpunkten.

Meine Aufgabe lag neben der Durchführung der für die Studie erforderlichen Blutentnahmen überwiegend in der Durchführung der Testungen am ersten der drei Untersuchungstage, die jeder Proband absolvierte. An diesem Tag wurden unter anderem zwei der hier vorgestellten Tests durchgeführt. Die MRT-Messungen am Tag drei wurden ganz überwiegend von Kollegen der Arbeitsgruppe durchgeführt. Die Arbeitsaufteilung erfolgte nach einem Dienstplan, der die spezifischen Arbeitsschwerpunkte berücksichtigte.

2.2 Probanden

Es wurden 126 gesunde Probanden zwischen 18 und 35 Jahren rekrutiert.

Die in die Bildauswertung eingeschlossenen 102 Probanden waren bei einem durchschnittlichen Alter von 26,25 Jahren und einer Standardabweichung von 3,829 zwischen 20 und 35 Jahre alt. Es handelte sich um 61 Frauen (59,8%) und 41 Männer (40,2%).

Die Probanden wurden teils aus der Probandendatenbank des Forschungsbereichs Mind and Brain der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité-Berlin, teils mittels Aushängen an Berliner Universitäten und teils mittels Mundpropaganda akquiriert.

Einschlusskriterien waren

- deutsche Muttersprachlichkeit
- vorangegangenes oder aktuelles Studium
- Rechtshändigkeit
- Alter zwischen 18 und 35 Jahren.

Ausschlusskriterien waren

- das Vorliegen psychiatrischer und neurologischer Erkrankungen,
- Rauchen (> 10 Zigaretten am Tag),
- Medikamenteneinnahme
- Substanzmissbrauch
- Ausschlusskriterien für MRT-Untersuchungen wie
 - Metall im Körper oder
 - Metallhaltige Tätowierungen am Oberkörper
 - Klaustrophobie

Die Probanden füllten vor Studieneinschluss einen Fragebogen aus, in dem diese Kriterien geprüft wurden.

Eine Probandin wurde nach Studienteilnahme ausgeschlossen, weil innerhalb der Studie durchgeführte Testungen die Diagnose einer sozialen Phobie ergaben.

Nach Durchsicht der MRT-Bilder wurden 23 Datensätze aus Qualitätsgründen ausgeschlossen, sodass 102 Datensätze berücksichtigt wurden. Gründe hierfür waren schlechte, also zu veräuschte oder unvollständige Aufnahmen sowie unsaubere Segmentierungen, die zuviel manuelle Korrektur benötigt hätten. Dies wurde vermieden, um die Ergebnisse nicht durch Überkorrekturen zu verfälschen. Zusätzlich kam es zu aufgabenspezifischen Ausschlüssen in der Stroop-Stop-Aufgabe (N = 25). Die Kriterien hierfür werden in Abschnitt 2.3.3 erklärt.

Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme an unserer Studie eine Aufwandsentschädigung zwischen 75 und 105 € sowie auf Wunsch eine DVD ihrer MRT-Aufnahmen.

2.3 Datenerhebung

Vor Beginn der Studie wurde das Einverständnis der Ethikkommission der Charité eingeholt. Die Datenerhebung erfolgte zwischen Februar 2012 und November 2012 im Campus Mitte der Charité Berlin. Die Probanden wurden jeweils auf Ein- und Ausschlusskriterien überprüft und dann zu drei Terminen eingeladen. Sie wurden vor ihrer Teilnahme umfassend über den Ablauf der Studie aufgeklärt und unterschrieben eine Einwilligungserklärung (siehe Anhang). Als Ziel der Studie wurde den Probanden erklärt, dass verschiedene Arten der Zielverfolgung untersucht werden sollten. Die Begriffe „Impulsivität“ oder „Willenskraft“ fielen nicht, um die Probanden

möglichst unbefangen zu lassen. Die Probanden wurden an drei verschiedenen Tagen über mehrere Stunden getestet. Außer den hier beschriebenen Aufgaben wurden zahlreiche weitere Tests mit den Probanden durchgeführt. Die drei Testungstage folgten jeweils einem festgelegten Tagesprotokoll, sodass bei allen Probanden die gleiche Testreihenfolge eingehalten wurde.

Die Barratt Impulsiveness Scale wurde, zusammen mit weiteren Fragebögen, von den Probanden bereits vor dem ersten Testungstag am heimischen Computer ausgefüllt.

Der Testungstag eins, an dem die beiden anderen der hier untersuchten Tests absolviert wurden, wurde in einem schallgedämpften Testraum der Charité durchgeführt. Nach der Begrüßung erfolgte zunächst die mündliche sowie schriftliche Aufklärung der Probanden. Wir klärten sie explizit darüber auf, dass sie zu jedem Zeitpunkt der Studie die Möglichkeit hätten, Fragen zu stellen oder ihre Studienteilnahme abzubrechen. Nach erfolgter schriftlichen Einwilligung und der Beantwortung einiger Fragen zu ihrer momentanen Befindlichkeit mithilfe des Kurz-Befindlichkeits-Tests absolvierten die Probanden zunächst einen Teil des Wechsler-Intelligenztests (Zahlenfolgen merken) sowie eine Aufgabe des Leistungsprüfsystems LPS. Beide Aufgaben finden sich im „Protokollbogen Tag 1“ im Anhang. Anschließend mussten die Probanden bis zu 5 Anagramme lösen, wobei das letzte unlösbar war, was die Probanden jedoch nicht wussten. Die lösbaren Anagramme lauteten CERKA – GNMTAE – LPMSIU – HCTMOHU (Acker, Magnet, Impuls, Hochmut), das letzte und unlösbare BRENLEO. Hier wurde die Zeit erfasst, die die Probanden investierten, um doch noch zu einer Lösung zu gelangen. Es folgte eine am Computer zu absolvierende Alertness-Aufgabe, die die Reaktionsgeschwindigkeit der Probanden erfasste. Danach bearbeiteten die Probanden, ebenfalls am Computer, die hier untersuchten Stroop-Stop- und Temporal-Discounting-Aufgaben. Beendet wurde der erste Testungstag mit einer Aufgabe zur visuellen Wahrnehmung sowie einer Blutentnahme.

Die MRT-Untersuchung erfolgte am Tag drei im Berlin Center for Advanced Neuroimaging (BCAN) im Campus Charité Mitte. Dieser Termin dauerte ca. 4 Stunden pro Proband, wobei sie etwa 2,5 Stunden im MRT verbrachten. Die Anatomie wurde dabei zu Beginn der Messung erfasst.

Die durchgeführten Testungen werden nachfolgend vorgestellt.

2.3.1 Die Barratt Impulsiveness Scale-11

Die elfte Version der Barratt Impulsiveness Scale ist ein 30 Items umfassendes Selbstbeurteilungsinstrument zur Erfassung von Impulsivität als Persönlichkeitseigenschaft. In dieser Version wird das Konstrukt Impulsivität in drei Komponenten untergliedert, die in Form von Subskalen erfasst werden: Die motorische Impulsivität (11 Items), die kognitive Impulsivität (8 Items) sowie die nichtplanende Impulsivität (11 Items) (Barratt, 1985; Patton et al. 1995). Es folgt der Fragebogen mit Erklärungen zur Auswertung:

Barratt Impulsiveness Scale-11

Instruktion: Bitte geben Sie an, wie oft die einzelnen Aussagen auf Sie zutreffen. Überlegen Sie dabei nicht, wie Sie sich gerne verhalten würden oder wie Sie meinen, dass man sich verhalten sollte, sondern versuchen Sie zu beurteilen, wie Sie sich tatsächlich verhalten.

1. *Ich bereite mich auf meine Aufgaben und Pflichten sorgfältig vor.* (BIS-Nonplanning)
2. *Ich tue Dinge, ohne darüber nachzudenken.* (BIS-Motor)
3. *Ich bin entschlossfreudig.* (BIS-Motor)
4. *Ich bin sorglos.* (BIS-Motor)
5. *Ich passe nicht auf.* (BIS-Attention)
6. *Gedanken rasen durch meinen Kopf.* (BIS-Attention)
7. *Ich plane einen Ausflug rechtzeitig im voraus.* (BIS-Nonplanning)
8. *Ich bin beherrscht.* (BIS-Nonplanning)
9. *Ich kann mich leicht konzentrieren.* (BIS-Attention)
10. *Ich spare mein Geld.* (BIS-Nonplanning)
11. *Ich drücke mich vor Theaterbesuchen oder Vorträgen.* (BIS-Attention)
12. *Ich bin ein gründlicher Denker / eine gründliche Denkerin.* (BIS-Nonplanning)
13. *Ich kümmere mich um Sicherheit am Arbeitsplatz.* (BIS-Nonplanning)
14. *Ich sage Dinge, ohne darüber nachzudenken.* (BIS-Nonplanning)
15. *Ich mag es, über schwierige Probleme nachzudenken.* (BIS-Nonplanning)
16. *Ich wechsle meine Jobs.* (BIS-Motor)
17. *Ich handle impulsiv.* (BIS-Motor)
18. *Mir wird schnell langweilig, wenn ich über ein Problem nachdenke.* (BIS-Nonplanning)
19. *Ich folge meinen augenblicklichen Eingebungen.* (BIS-Motor)
20. *Ich bin ein ausdauernder Denker / eine ausdauernde Denkerin.* (BIS-Attention)

21. *Ich wechsle meine Wohnung.* (BIS-Motor)
22. *Ich kaufe Sachen spontan.* (BIS-Motor)
23. *Ich kann nicht über zwei Dinge gleichzeitig nachdenken.* (BIS-Motor)
24. *Ich wechsle meine Hobbies.* (BIS-Attention)
25. *Ich gebe mehr Geld aus, als ich verdiene.* (BIS-Motor)
26. *Wenn ich nachdenke, kommen mir oft nebensächliche Gedanken in den Sinn.* (BIS-Attention)
27. *Ich kümmere mich mehr um die Gegenwart als um die Zukunft.* (BIS-Nonplanning)
28. *Im Theater oder bei Vorträgen werde ich unruhig.* (BIS-Attention)
29. *Ich mag Puzzles und Geduldspiele.* (BIS-Nonplanning)
30. *Ich bin zukunftsorientiert.* (BIS-Motor)

Items: Die Items werden in folgenden vier Abstufungen beantwortet:

- nie / selten,
- gelegentlich,
- oft und
- fast immer / immer.

Für die Abstufungen werden ein bis vier Punkte vergeben. Es gibt drei Unterskalen: Aufmerksamkeit (BIS-Attention: Items 5, 6, 9, 11, 20, 24, 26 und 28), motorische Impulsivität (BIS-Motor: Items 2, 3, 4, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 25 und 30) und Voraussicht (BIS-Nonplanning: 1, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 27 und 29). Folgende Items sind negativ formuliert und müssen für die Bewertung umgepolt werden: 1, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 20 und 29.

2.3.2 Die Temporal-Discounting-Aufgabe

In der adaptiven Computerversion der Temporal-Discounting-Aufgabe von Peters und Büchel mussten sich die Probanden entscheiden, ob sie lieber fiktive 20 € jetzt oder eine höhere Summe („Reward“) eine variable Anzahl von Tagen später erhalten wollten (Peters und Büchel, 2009). Der Test wurde mittels der Software „Presentation“ im Testraum unseres Instituts durchgeführt. Hierfür wurde eine kleine Tastatur mit zwei Tasten an den Computer angeschlossen. Die Probanden wurden darüber aufgeklärt, dass sie jetzt einen Test zur Entscheidungsfindung absolvieren würden und es wurde ihnen die Tastatur gezeigt. Instruktionen erfolgten dann am Bildschirm.

Vor Beginn des Tests erschien am Bildschirm eine Instruktion (Abbildung 5):

Experiment zur Entscheidungsfindung

Bitte geben Sie bei den folgenden Entscheidungen an, welche Belohnung Sie jeweils bevorzugen würden - den sofortigen Betrag von 20 Euro, oder die größere, aber spätere Belohnung?

Die Entscheidungen sind hypothetisch. Bitte versuchen Sie trotzdem, jede einzelne Entscheidung so zu treffen, als ob es um echtes Geld ginge.

Sie haben keinen Zeitdruck. Bitte denken Sie aber nicht zu lange nach, sondern versuchen Sie, spontan und aus dem Bauch heraus zu antworten.

Bitte beachten Sie, dass einige Angebote mehrmals gezeigt werden können.

So sieht ein Durchgang aus:



1) Der rote Punkt signalisiert den Beginn eines neuen Durchgangs.

20€ sofort	87€ 140Tage
---------------	----------------

2) Die beiden Optionen werden eingeblendet: Drücken Sie links für die 20€ (sofort) oder rechts für die 87€ in 140 Tagen.

20€ sofort	87€ 140Tage
---------------	----------------

3) Der grüne Pfeil zeigt an, welche Option Sie ausgewählt haben.

Drücken Sie die linke Taste, um das Experiment zu starten.

Abbildung 5: Instruktion und Ablauf der TDA

Es folgte ein kurzer Vortest, bei dem die Probanden sich mit dem Ablauf vertraut machen konnten. Dann erschien der Hinweis „Jetzt geht’s los!“ und der eigentliche Test begann.

Es gab 6 mögliche Zeitverzögerungen („Delays“): 1, 2, 7, 30, 90 oder 180 Tage. Insgesamt wurden 240 Optionen angeboten, also 40 Optionen verschiedener Rewards pro Delay. Die Reihenfolge der angebotenen Delays war hierbei zufällig. Jedem dieser Delays war ein Betrag bzw. eine Belohnung (Reward) zugeordnet, der bei der ersten Präsentation des entsprechenden Delays als Alternative zu den 20 € angeboten wurde. Die im ersten Durchgang angebotenen Rewards waren 25, 28, 35, 45, 70 und 120 €. War der Delay „1 Tag“ (im Vergleich zu „sofort“), so wurden also zunächst 25 € als Alternative zu „20 € sofort“ angeboten. Unabhängig von der ersten Entscheidung folgten dann zufällig weitere Delays mit den ihnen zugeordneten Rewards, bis die erste Option wieder erschien. Entschied der Proband sich beim zweiten Mal wie beim ersten Versuch, so wurde der Reward angepasst. Hatte er beispielsweise zweimal die „20 € sofort“ statt der „25 € in einem Tag“ gewählt, wurde der Reward (also die höhere Summe) des entsprechen-

den Delays erhöht. Hatte der Proband den Delay zweimal zugunsten des Rewards akzeptiert, wurde der Reward erniedrigt. Die Anpassungen erfolgten in folgenden Stufen (jeweiliger Ausgangswert in € +/-): 5, 8, 15, 25, 50, 100 €.

Aus diesen Daten wurde dann die individuelle Discountingrate k mit folgender Formel ermittelt:

$$V(A) = \frac{A}{1 + kD}$$

$V(A)$ ist der diskontierte Wert bzw. der Gegenwartswert des angebotenen zukünftigen Rewards A . D ist der Delay und k die persönliche Diskontierungsrate, also die Neigung, fernere Belohnungen zu entwerten. Diese Berechnungen wurden mit Hilfe eines Matlab-Skriptes automatisiert für alle Probanden erstellt. Das Programm ermittelt per Annäherung für jeden Probanden das k , mit dem die Entscheidungen des Probanden am besten widerspiegelt werden. Je größer k , desto höher die Diskontierungsrate, desto impulsiver der Proband. Hier sollte die individuelle Neigung der Probanden gemessen werden, fernere Belohnungen abzuwerten, womit der Impulsivitätsfaktor „impulsive Entscheidung“ erfasst werden sollte. Wenn ein Proband nicht über die Zeit entwertete, also immer den höheren Betrag wählte, auch wenn er für nur sehr wenig Gewinn sehr lange warten musste, erzielte er den k -Wert 0.

2.3.3 Die Stop-Signal-Aufgabe

Die Stroop-Stop-Aufgabe wurde ebenfalls an Tag 1 der Studie mit der Software „Presentation“ im Testraum unseres Instituts durchgeführt. Diese Aufgabe stellt eine Kombination zweier Tests dar: Stop-Signal-Aufgabe nach Logan (Logan und Cowan, 1984) und Stroop- oder Farbe-Wort-Interferenztest nach Stroop (Stroop, 1935), Version von Van Veen und Carter (Van Veen und Carter, 2005).

Der Stroop-Stop-Test setzte sich aus zwei Blöcken mit jeweils 128 Trials zusammen. 25 % dieser Trials waren Stop-Trials, sodass es sich insgesamt um 64 Stop-Trials und 192 Stroop-Trials handelte, die den Probanden präsentiert wurden. Vor Beginn der beiden Testblöcke konnten die Probanden einen etwa 15-minütigen Testlauf absolvieren, um sich mit dem Ablauf vertraut zu machen. Der Instruktionstext, der den Probanden zuvor am Bildschirm präsentiert wurde, lautete:

Farb-Experiment

In diesem Experiment sollen Sie auf die Farbe von Wörtern reagieren, die in der Mitte des Bildschirms erscheinen werden. Obwohl der Inhalt der Wörter auch immer eine Farbe beschreibt, sollen Sie auf die FARBE DES WORTES und nicht auf das Wort selbst reagieren! Weiter mit beliebiger Taste... (neues Bild) Reagieren Sie bitte mit dem linken Zeigefinger, wenn die Farbe des Wortes GELB oder ROT ist. Reagieren Sie bitte mit dem rechten Zeigefinger, wenn die Farbe des Wortes BLAU oder GRÜN ist. Reagieren Sie immer so schnell und korrekt wie möglich auf die Farbe des Wortes. Weiter mit beliebiger Taste...(neues Bild) In manchen Versuchsdurchgängen wird Ihnen ein Ton präsentiert. In diesen Durchgängen sollen Sie NICHT reagieren! Versuchen Sie also, Ihre Reaktion zu unterdrücken, sobald Sie den Ton hören! Die Präsentation des Tons ist sehr selten und kann manchmal auch erfolgen, nachdem Sie bereits reagiert haben! Beachten Sie, dass die Reaktion auf die Farbe des Wortes Priorität hat. Reagieren Sie also immer schnellstmöglich auf die Wortfarbe (links = GELB und ROT, rechts = BLAU und GRÜN) – außer, wenn der Ton präsentiert wird.

Nachdem der Proband die Instruktionen gelesen hatte, wurde er mündlich noch einmal darauf hingewiesen, dass es zunächst einen Testlauf geben würde und dass er zu beachten habe, dass die „Farbe des Wortes Priorität“ habe, und es „nicht so schlimm sei“, wenn er mal einen Tastendruck nicht mehr stoppen könne.

Dieser Test bestand also zum einen aus einer Stop-, zum anderen aus einer Stroop- bzw. Interferenzaufgabe. In jedem Trial mussten sich die Probanden rasch für eine von zwei Tasten entscheiden, wobei die linke Taste zu drücken war, wenn ein zuvor angezeigtes Wort in rot oder gelb erschienen war, und die rechte, wenn das Wort blau oder grün gewesen war. Die Schwierigkeit lag darin, dass die präsentierten farblichen Wörter selbst Farbworte waren, sodass das gelesene Wort „grün“ in gelber Farbe präsentiert, dennoch die Antwort „gelb“ und nicht „grün“ erforderte. In 50 % der Fälle waren die Stimuli wie im gerade genannten Beispiel inkongruent (Wortbedeutung und Farbe stimmten nicht überein), in den anderen 50 % waren die Stimuli kongruent (die Farbe und das geschriebene Wort stimmten überein). Die Präsentationszeit war hierbei 300 ms, gewertet wurden nur Antworten, die in einem Zeitraum von 800 ms nach Beginn der Stimuluspräsentation erfolgten. Zwischen den Trials erschienen Fixationskreuze jeweils für 1300, 3300 oder 5300 ms.

Die Fehlerraten und Reaktionszeiten der „Go-Trials“, die also nicht durch das Stop-Signal unterbrochen wurden, werden in dieser Arbeit nicht ausgewertet. Ich konzentriere mich auf die sogenannten Stop-Trials, aus denen die Stop-Signal-Reaction-Time ermittelt wurde. Diese wurde erhoben, indem die Probanden einen bereits begonnenen Impuls bei Ertönen eines Signaltons rasch inhibieren mussten. In 25 % aller Trials ertönte also kurz nach Stimuluspräsentation ein Signalton („Stop-Signal“), bei dem die Probanden den begonnenen Impuls unterdrücken und die Taste doch nicht mehr drücken sollten. Bei jeder erfolgreichen Inhibition wurde der Zeitabstand zum Signal (Stop-Signal-Delay), um 50 ms erhöht, sodass die Aufgabe schwieriger wurde. Geling dem Probanden die Inhibition nicht, wurde der Stop-Signal-Delay dagegen verkürzt, sodass der Zeitabstand zwischen Kreuzpräsentation und Signalpräsentation adaptiv war. So konnte für jeden Probanden eine individuelle Stop-Signal-Reaktionszeit ermittelt werden. Je kürzer diese war, desto besser konnte der Proband impulsive Reaktionen unterdrücken. Die SSRT wurde auf folgende Weise berechnet:

$$\text{Stop-Signal-Reaction-Time} = \text{Go-Signal-Reaction-Time} - \text{mittlerer Stop-Signal-Delay}$$

Mit „Go-Signal-Reaction-Time“ ist die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit in allen nicht durch ein Stop-Signal unterbrochenen Trials gemeint. Als Stop-Signal-Reaktionszeit (SSRT) wurde also die Präsentationszeit ermittelt, bei der in 50 % der Fälle rechtzeitig inhibiert wurde und in 50 % nicht. Je höher diese Reaktionszeit war, desto impulsiver agierte also der Proband, was daraus geschlossen wurde, dass ihn das Unterdrücken von Impulsen viel Zeit kostete. Es kam bei dieser Aufgabe zu 25 zusätzlichen Ausschlüssen. Es wurden Probanden ausgeschlossen, die beim Stopping weniger als 30 %, mehr als 70 % Fehler oder mehr als 30 % Fehler während der mit der Stop-Aufgabe kombinierten Stroop-Aufgaben machten. Damit sollten solche Probanden ausgeschlossen werden, die die Aufgabe nicht verstanden hatten, aber auch solche, die mit Strategie vorgingen oder sich zu sehr auf das Stopping konzentrierten. Der Test dauerte durchschnittlich etwa eine halbe Stunde.

Abbildung 6 zeigt das Schema der Stroop-Stop-Aufgabe:

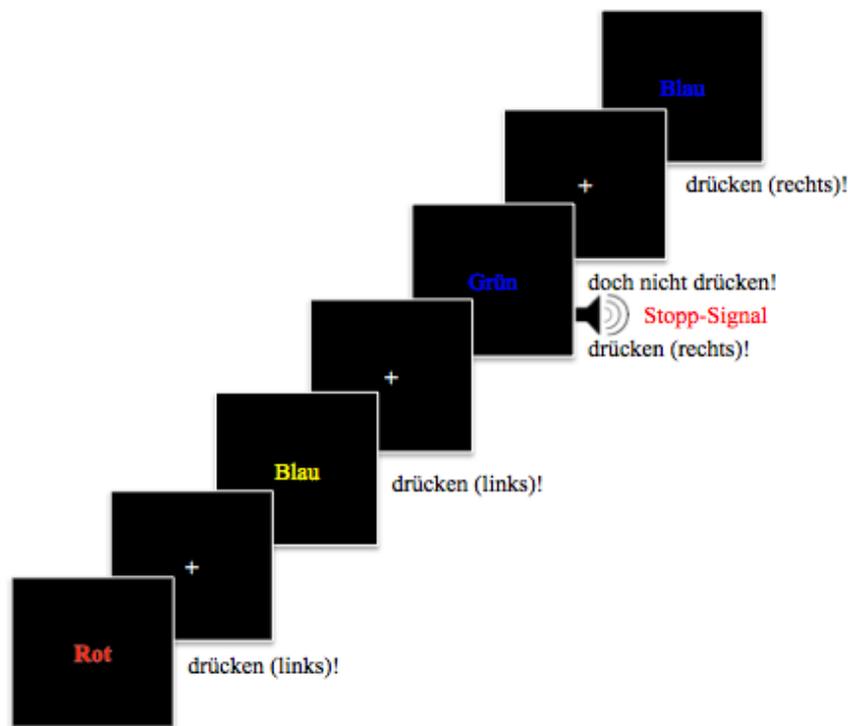


Abbildung 6: Schema der Stroop-Stop-Aufgabe

2.3.4 Messung der corticalen Dicke

Wir verwendeten eine T1-gewichtete 3-D Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo (MPRAGE)-Sequenz mit folgenden Parametern: Matrixgröße 256 x 256; Schichtdicke: 1,0 mm; Repetitionszeit: 1900 ms; Echozeit: 2,52 ms; Anregungswinkel: 9°.

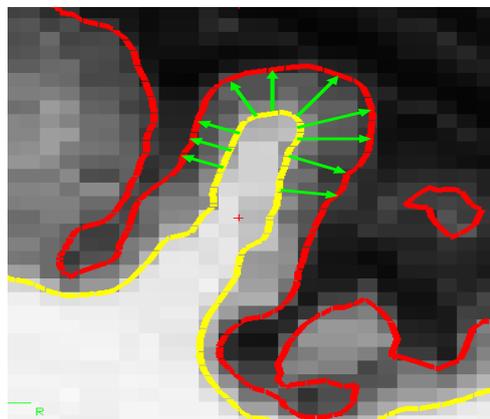
Die zur Auswertung der Daten angewandten FreeSurfer-Verfahren zeigten in früheren Untersuchungen gute Test-Retest-Reliabilitäten über die Geräte verschiedener Hersteller sowie über verschiedene Magnetfeldstärken hinweg und wurden an histologischen Analysen (Rosas et al., 2002) und manuellen Messungen (Kuperberg et al., 2003; Salat et al., 2004) validiert. Alle Bilder wurden den Empfehlungen² entsprechend kontrolliert. Die sehr aufwendigen schichtweisen manuellen Korrekturen mussten an 43 Datensätzen durchgeführt werden, 15 davon wurden später aufgrund ungenügender Ergebnisse dennoch nicht verwendet, 8 wurden aufgrund ihrer schlechten Qualität ohne Korrekturversuch verworfen.

² <https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/fswiki/RecommendedReconstruction>

2.4 Datenanalyse

2.4.1 FreeSurfer

Die strukturellen MRT-Daten wurden mit einer Software zur Rekonstruktion von corticaler Oberfläche (FreeSurfer für Linux, Version 5.1.0; FreeSurfer, 2011) bearbeitet und analysiert. Das Analyseverfahren des FreeSurferprogramms ist frei verfügbar und auf seiner Homepage³ dokumentiert. Es handelt sich dabei um zusammengehörige Tools zur Untersuchung corticaler und subcorticaler Anatomie. FreeSurfer berechnet per Klassifizierung aller Weiße-Masse-Voxel im MRT-Volumen die Grenze zwischen weißer und grauer Substanz sowie der Hirnhaut (Abbildung 7). Sind diese Grenzen bekannt, können sowohl corticale Dicke als auch Oberfläche oder Faltung für jeden Punkt berechnet werden (Fischl und Dale, 2000). Die Oberfläche kann dann geglättet oder „aufgebläht“ (inflated) rekonstruiert und visualisiert werden. Nach der Tailarach-Transformation und dem sogenannten „Skullstripping“, dem Ablösen der für die Berechnungen nicht relevanten Hirnhaut, werden verschiedene Algorithmen automatisiert durchgeführt, die zur Segmentierung der Gehirne nach den Arealen des Desikan-Kiliany-Atlas führen. Man erhält dann ein segmentiertes Gehirn, dessen Grenzen jedoch kontrolliert und gegebenenfalls manuell angepasst werden müssen, wenn beispielsweise graue Masse fälschlicherweise als weiße Masse markiert und berechnet wurde. Dies erfolgt rein optisch und muss auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Dimensionen mit großer Sorgfalt vorgenommen werden. Die FreeSurfer-eigene Statistiksoftware QDEC bietet dann die Möglichkeit, Korrelationen zu importierten Testwerten zu erstellen und diese in Clustertabellen oder bildhaft darzustellen.



(Quelle: FreeSurfer)

Abbildung 7: Berechnung der Distanz zwischen weißer Masse und Hirnhaut

³ <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>

2.4.1.1 Statistische Auswertung der Cortexdicke und Korrelate

Im ersten Schritt wurde untersucht, ob die vorliegenden Werte der Messskalen normalverteilt und keine Ausreißer vorhanden sind. Diese Untersuchung ist notwendig, um die Anwendbarkeit von parametrischen Tests zu prüfen, die die Normalverteilung von Werten voraussetzen. Die Normalverteilung wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Nachdem das Bildmaterial in das Softwarepaket FreeSurfer eingespielt worden war, erfolgten zunächst schichtweise manuelle Korrekturen. Da FreeSurfer bei unscharfen Kontrasten fehlerhafte Grenzen zwischen grauer und weißer Substanz zieht, musste jede Schicht der MRT-Bilder untersucht und die Grenze gegebenenfalls manuell angepasst werden.

Nach Korrektur und Prüfung des gesamten Bildmaterials wurden für jeden Probanden Dateien erzeugt, die für jedes einzelne PFC-Areal (siehe Abschnitt 1.4) der jeweils rechten und linken Hemisphäre einen gemittelten Dicke-Wert enthielten. Da es darum ging, Korrelationen für die genannten präfrontalen Regionen, Regions of Interest (ROIs), zu ermitteln, extrahierte ich mit Hilfe des FreeSurferprogramms für jede dieser ROIs einen gemittelten Dickewert und exportierte diese in das Statistikprogramm SPSS. Die weiteren Analysen wurden dann hauptsächlich mit dieser Software durchgeführt. Zur Berechnung des Fischer-Z-Wertes, auf den folgend noch eingegangen wird, verwendete ich das Office-Programm Excel. Zur Erstellung der Regressionsgeraden verwendete ich das frei verfügbare Statistikprogramm R-Studio.

Da Alter und Geschlecht Einfluss auf corticale Dicke und psychometrische Daten nehmen, wurden diese Korrelationen durch die Berechnung partieller Korrelationen vom Einfluss des Alters und des Geschlechts bereinigt. Bei der geschlechtsspezifischen Betrachtung wurde entsprechend lediglich das Alter herauspartialisiert. Zusätzlich wurde für TDA und SSRT ein möglicher Einfluss der variablen „Müdigkeit“ und „Schlafstunden in der vorangegangenen Nacht“ überprüft, da bekannt ist, dass Impulsivität durch Müdigkeit und Ressourcenerschöpfung beeinflusst werden kann. Hierzu wurde der zu Beginn des Testungstages ausgefüllte Kurzfragebogen auf diese Angaben und die Korrelation zu den Testergebnissen hin untersucht. Für den Selbstberichtsfragebogen BIS war dies nicht möglich, da dieser bereits zuvor am heimischen PC ausgefüllt worden war. Da die Anzahl der angegebenen Schlafstunden tatsächlich einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse der Stroop-Stop-Aufgabe nahm (je weniger Schlaf, desto länger die SSRT), wurde für diesen Test zusätzlich die Variable „Schlafstunden“ als Störfaktor in die Untersuchung der partiellen Korrelationen mit aufgenommen.

Zur Ermittlung einer angemessenen Signifikanzschwelle im Rahmen der ROI-Analyse wurde der übliche Signifikanzwert von $p < 0,05$ zunächst durch die Anzahl der in meine Hypothesen aufgenommenen ROIs, also durch 16 geteilt (für beide Hemisphären 3 Teile des IFG, 2 Teile des MFG, 2 des OFC sowie der SFG). So ergab sich eine Signifikanzschwelle von $p < 0,003$. Dieser Korrektur hielt jedoch keines der Ergebnisse stand. Ich präsentiere daher Ergebnisse mit einer liberaleren Grenze von $p < 0,05$, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass diese lediglich als hinweisend aufzufassen sind und in weiteren Untersuchungen überprüft werden müssen.

Um die geschlechtsspezifischen Effekte nicht nur innerhalb der Gruppen, sondern auch vergleichend werten zu können, verwendete ich den Fischer-Z-Test. Dieser Test prüft, ob die Korrelationskoeffizienten beider Gruppen signifikant unterschiedlich sind. Die Prüfgröße Z wird wie folgt berechnet (Bortz und Schuster, 2010a):

$$Z = \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1-3} + \frac{1}{n_2-3}}}$$

Wobei in diesem Fall z_1 und z_2 die Z-transformierten Korrelationskoeffizienten der beiden Stichproben, n_1 die Größe der Stichprobe 1 und n_2 die Größe der Stichprobe 2 darstellen. Geprüft wird mit diesem Test die Nullhypothese, dass beide Korrelationskoeffizienten der beiden unabhängigen Stichproben gleich sind bzw. beide Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Wenn der Z-Wert mit seinem absoluten Betrag größer ist als der kritische Wert 1,96, kann die Nullhypothese verworfen werden und die Korrelationskoeffizienten können als signifikant verschieden betrachtet werden. Bei diesem Prüfverfahren können selbst gruppenspezifisch nicht signifikante Korrelationskoeffizienten als signifikant verschieden geprüft werden. Diese Berechnung erfolgte in Excel unter Verwendung einer Berechnungsvorlage, die von DeCoster erstellt wurde und auf der Webseite <http://www.stat-help.com> frei zur Verfügung gestellt ist (DeCoster, 2015).

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

3.1.1 Überprüfung der Normalverteilung

Für die psychometrischen Skalen zeigten die Ergebnisse der durchgeführten Kolmogorov-Smirnov-Tests auf, dass die Werte der Variablen BIS-Attentional, BIS-Motor sowie die Werte des Temporal Discounting nicht normalverteilt sind. Die Tests lieferten für diese Variablen signifikante Ergebnisse (siehe Anhang Tabelle 8).

Bei der Betrachtung der Verteilung der Werte mittels Box-Plot-Diagrammen wird deutlich, dass bei der Temporal-Discounting-Aufgabe viele Werte mehr als 2 Standardabweichungen vom Mittelwert abweichen und dadurch als Extremwerte gelten (siehe Anhang Abbildung 25). Hinzu kommt, dass der Mittelwert deutlich in den Bereich der kleinsten Werte verschoben ist, also eine rechtsschiefe Verteilung vorliegt. Diese Charakteristik bleibt auch dann bestehen, wenn die Extremwerte ausgeschlossen werden (siehe Abbildung 26 im Anhang). Dieses Problem konnte mittels einer Rangtransformation behoben werden. Den Werten wurden also entsprechend ihrer Beziehung zueinander kontinuierlich aufsteigende Werte zugeschrieben. Das Box-Plot-Diagramm der rangtransformierten Werte veranschaulicht die dadurch erreichte annähernd normale Verteilung ohne Ausreißer (siehe Anhang Abbildung 27 und Abbildung 28). Der Normalverteilungstest zeigt ebenfalls mit $p = 0,052$, dass die Rangwerte des TD noch als normalverteilte Werte angenommen werden können (siehe Anhang Tabelle 8).

Bei den Variablen BIS-Gesamt und BIS-Motor zeigten sich wenige bis einzelne Ausreißer (siehe Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 31 im Anhang). Allerdings waren die Mittelwerte bei diesen Variablen nicht stark nach links oder rechts bzw. in den niedrigen oder hohen Wertebereich verschoben. Da bei diesen Variablen somit keine stark schiefe Verteilung vorlag, konnten mit diesen t-Tests durchgeführt werden, da t-Tests bei nichtnormalverteilten Werten relativ robust sind, sofern keine zu starken schiefen Verteilungen vorliegen und die Stichproben annähernd gleich groß sind (Bortz und Schuster, 2010). Für parametrische bivariate Korrelationsanalysen wird angenommen, dass die Werte der jeweiligen Variablen-Paare bivariat normal verteilt sind. Auch bei Verletzung dieser Annahme erweisen sich die Tests auf Signifikanz im Rahmen der Berechnung der Korrelation nach Pearson als robust (Bortz und Schuster, 2010). Mit Ausnahme der Variable Temporal Discounting konnten die Variablen daher mit ihren ursprünglichen

Werten verwendet werden. Bei der Variable Temporal Discounting wurden annähernd normal verteilte rangtransformierte Werte verwendet. Auch die Überprüfung der Normalverteilung der Werte der durchgeführten Cortextmessungen zeigten, bis auf den linken rMFG für alle Gehirn-areale, die Gegenstand der Hypothesen sind, nach den Ergebnissen des Kolmogorov-Smirnov-Tests mit $p > 0,05$ normalverteilte Werte (Tabelle 9; Tabelle 10). Für den linken rMFG lag ebenfalls keine stark schiefe Verteilung vor, sodass, wie oben erklärt, dennoch ein t-Test durchgeführt werden konnte (Bortz und Schuster, 2010).

3.1.2 Ergebnisse der psychometrischen Tests

Zunächst wurden die Mittelwerte der psychometrischen Skalen weiblicher und männlicher Probanden bezüglich der psychometrischen Tests betrachtet. Die Mittelwerte der Männer waren bei allen Variablen höher als die der Frauen (Abbildung 8), wobei die Differenz zwischen Männern und Frauen nur sehr gering war.

Die Verteilung der Ergebnisse sowie die Differenzen zwischen den Geschlechtern sind in folgenden Diagrammen verdeutlicht (Abbildung 8; Abbildung 9; Abbildung 10):

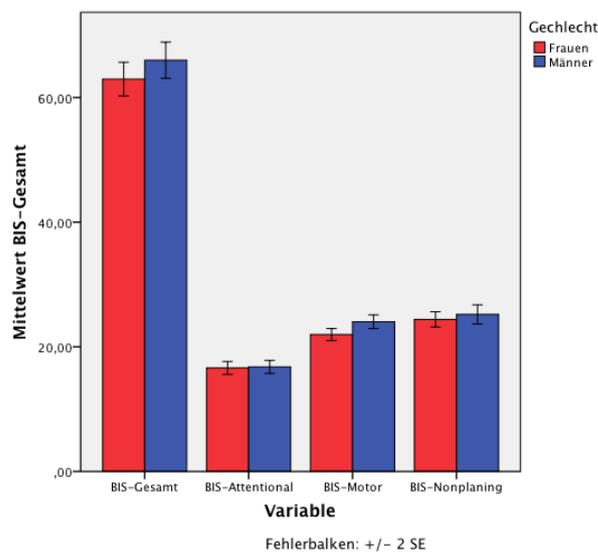


Abbildung 8: Mittelwerte der Barrat Impulsiveness Scale

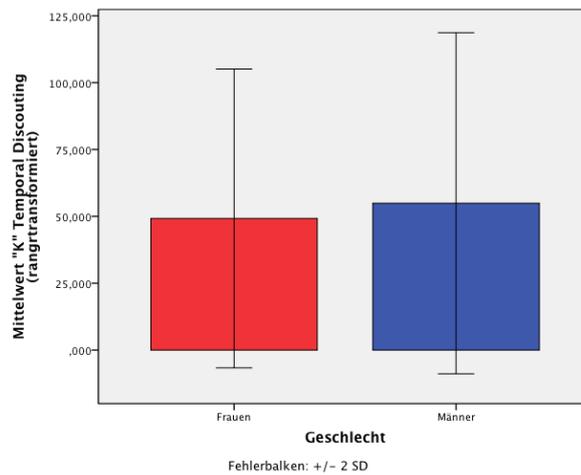


Abbildung 9: Rangtransformierte k-Werte der Temporal-Discounting-Aufgabe

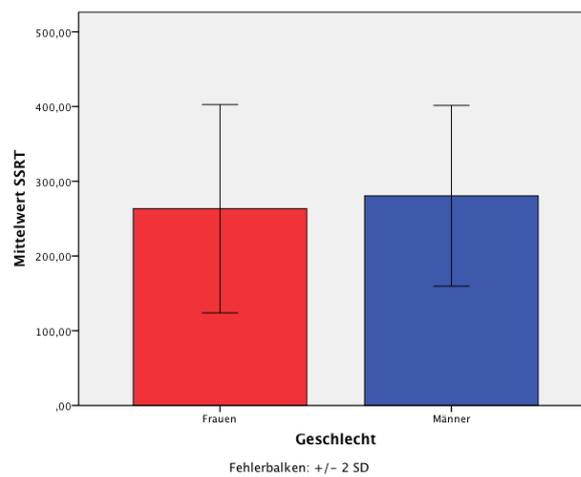


Abbildung 10: SSRT

Um die Differenz zwischen den Gruppen zu prüfen, wurde ein t-Test erstellt, dessen Voraussetzung der Varianzgleichheit zwischen den Gruppen mit dem Levene-Test der Varianzgleichheit ermittelt wurde. Bei allen Variablen war die Voraussetzung der Varianzhomogenität erfüllt. Es zeigte sich lediglich für BIS-Motor ein signifikanter Geschlechtsunterschied: hier berichteten Männer von stärkerer Impulsivität als Frauen (Tabelle 3).

	Geschlecht	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	t	df	Signifikanz (2-seitig)
BIS-Gesamt	w	61	62,97	10,55	1,350	-1,49	100	0,139
	m	41	66,00	9,27	1,448			
BIS-Attentional	w	61	16,61	4,06	0,520	-0,23	100	0,821
	m	41	16,78	3,36	0,524			
BIS-Motor	w	61	21,97	3,74	0,480	-2,78	100	0,007*
	m	41	24,02	3,55	0,555			
BIS-Nonplanning	w	61	24,39	4,77	0,611	-0,82	100	0,414
	m	41	25,20	4,93	0,770			
Rangtransformiertes K-Temporal-Discounting	w	61	49,21	27,92	3,571	-0,95**	100	0,343
	m	41	54,90	31,89	4,980			
Stop Signal Reaction Time	w	48	263,20	69,67	10,057	-1,11	75	0,271
	m	29	280,57	60,47	11,229			

Tabelle 3: Gruppenstatistiken und t-Tests

**Bei den rangtransformierten TD-Werten wurde statt des t-Tests ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, da es sich hierbei nicht um intervallskalierte Daten handelt.

3.2 Partielle Korrelationen von Cortexdicke und psychometrischen Tests

Nach Prüfung der Normalverteilung wurden die Korrelationen der Testergebnisse zur corticalen Dicke der ROIs ermittelt. Um die Einflussgrößen Alter und Geschlecht sowie für die SSRT, die Anzahl der Schlafstunden zu eliminieren, wurden partielle Korrelationen erstellt. Diese wurden jeweils getrennt für beide Geschlechtergruppen sowie für die Gesamtgruppe erstellt. Als Kriterium galt $p < 0,05$ für statistisch signifikante Ergebnisse. Analysiert wurden jeweils die gemittelten Werte der einzelnen Voxels der jeweiligen ROIs.

Für jede Korrelation der untersuchten ROIs wurden zusätzlich zu den errechneten partiellen Korrelationen Regressionsgeraden erstellt. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt ROI-spezifisch, wobei für jede ROI, bei der sich ein signifikantes Ergebnis zeigte, die Test-Korrelationen als Regressionsgraden (Testwert / corticale Dicke) präsentiert werden. Bei den angegebenen Korrelations- und p-Werten handelt es sich um die Ergebnisse der Partiellen Korrelationen (mit Alter, Geschlecht und für SSRT Schlafstunden als Kovariaten).

Ein tabellarischer Überblick aller – auch die anderen präfrontalen Areale betreffenden partiellen Korrelationen – findet sich im Anhang (siehe Tabelle 12 – Tabelle 17).

3.2.1 Superiorer Frontaler Gyrus

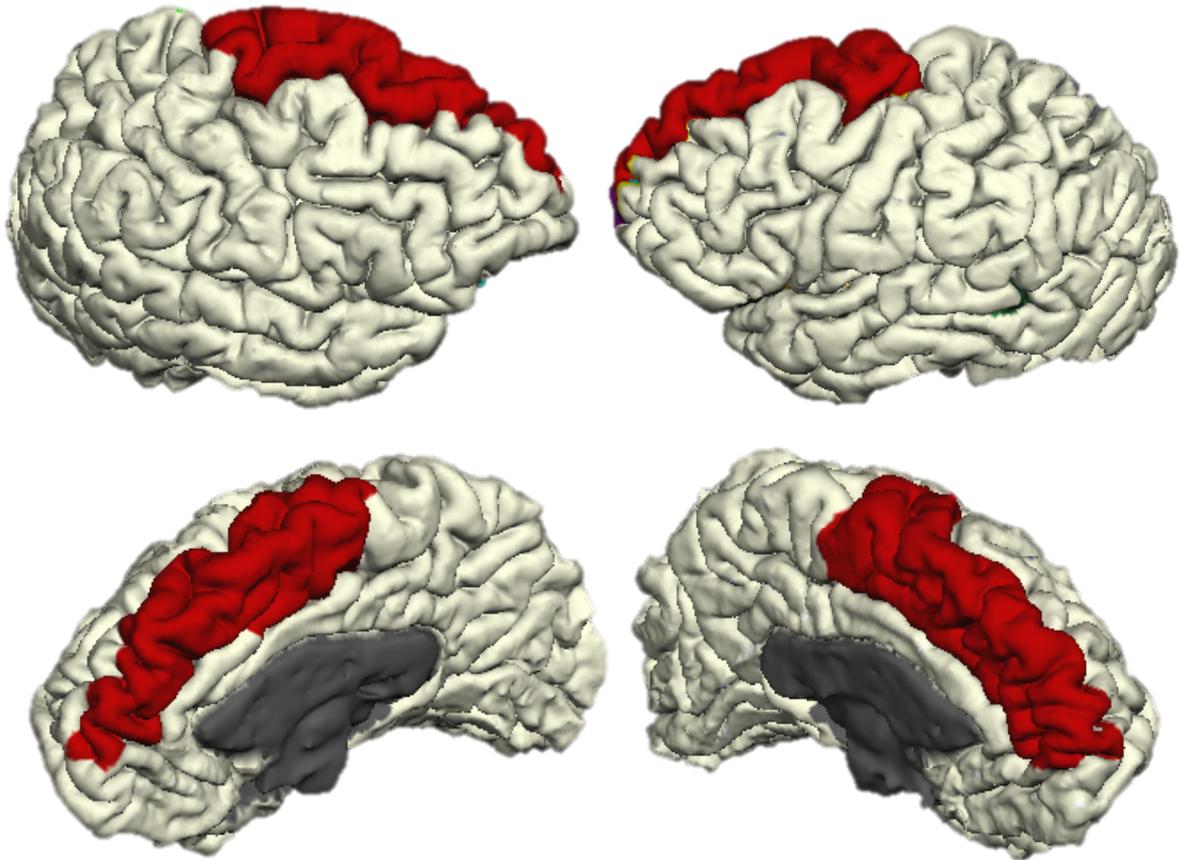


Abbildung 11: Superiorer Frontaler Gyrus

3.2.1.1 SFG und BIS-11

Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der SFGs (Abbildung 11) und der Ergebnisse der BIS-Gesamt, -Attention, -Motor oder -Nonplanning zeigten sich, für Alter und Geschlecht korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.1.2 SFG und Temporal Discounting

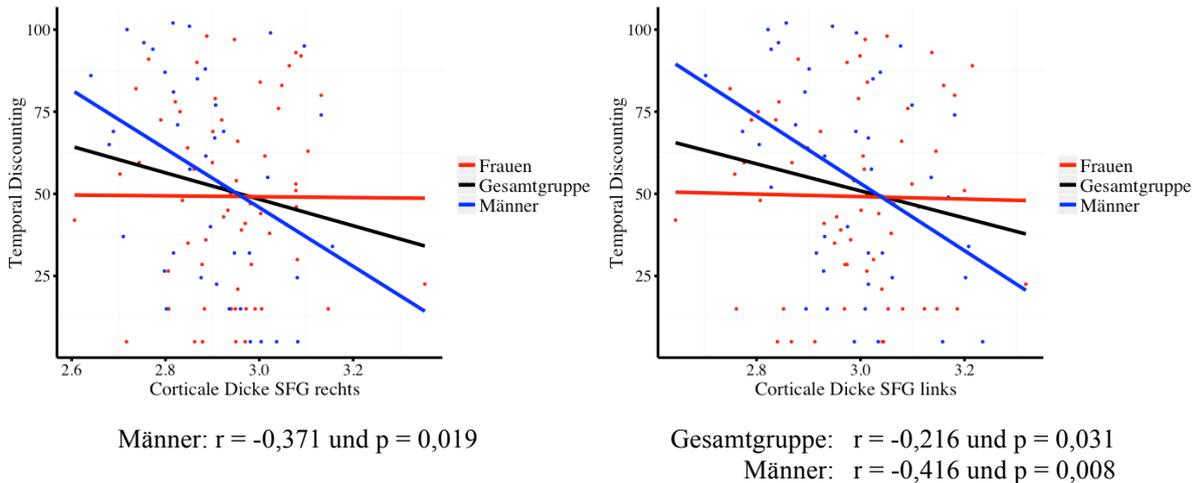


Abbildung 12: Korrelation SFG / TDA

Die mit Alter und Geschlecht als Kontrollvariable analysierten partiellen Korrelationen zeigten für die gesamte Stichprobe eine signifikant negative Korrelation zwischen den rangtransformierten Temporal-Discounting-Werten und der Dicke des linken SFG ($r = -0,216$ und $p = 0,031$) (Abbildung 12).

Bei den Männern zeigten sich statistisch signifikante negative partielle Korrelationen ebenfalls im linken ($r = -0,416$ und $p = 0,008$) sowie rechten SFG (Abbildung 12). Frauen zeigten keine signifikante Korrelation zwischen TD und corticaler Dicke des SFG.

Keine dieser Korrelationen zeigte eine signifikante Differenz zwischen Männern und Frauen.

3.2.1.3 SFG und Stop Signal Reaction Time

Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der SFGs und der SSRT der Probanden zeigten sich, für Alter, Geschlecht und Schlafstunden korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.2 Mittlerer Frontaler Gyrus

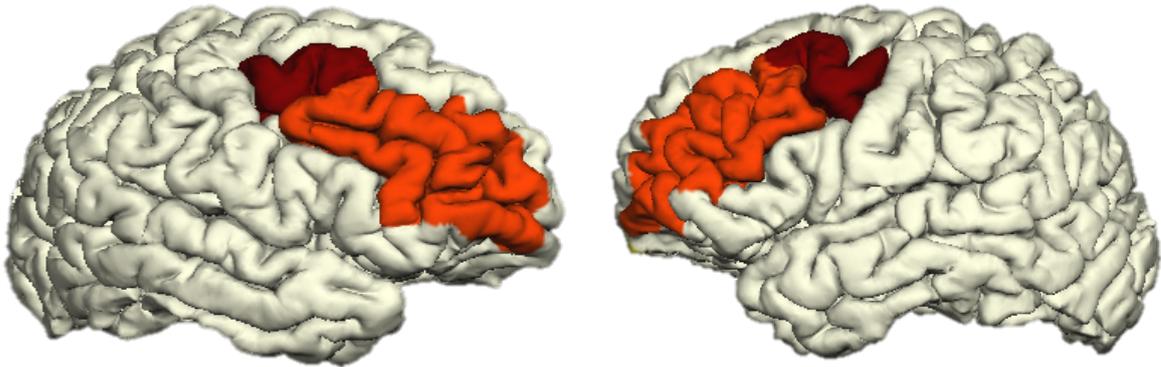
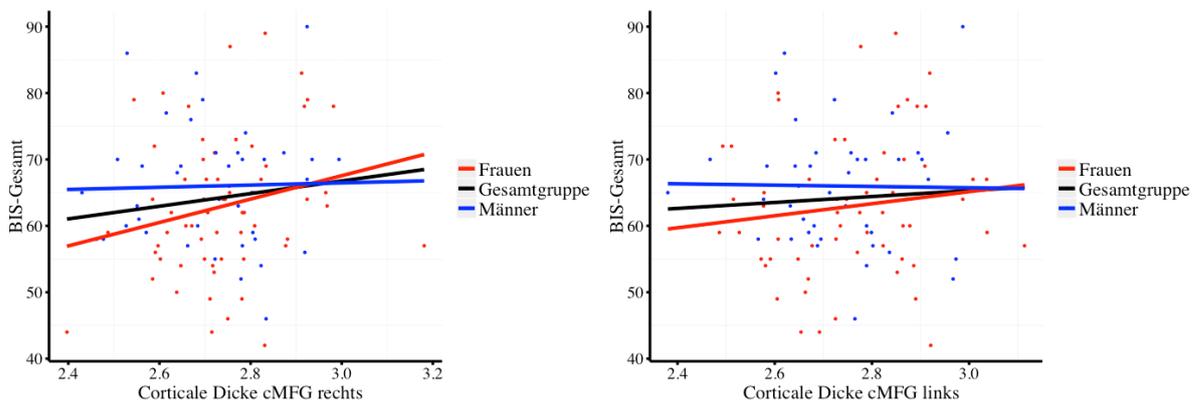


Abbildung 13: Rostraler und caudaler Mittlerer Frontaler Gyrus
rostral hellrot, caudal dunkelrot

3.2.2.1 MFG und BIS-11

Die mit Alter und Geschlecht als Kontrollvariablen analysierten partiellen Korrelationen von BIS-Gesamt, -Attentional, -Motor und -Nonplanning und den corticalen Dicken der MFGs (Abbildung 13) zeigten nur für Frauen ein statistisch signifikantes Korrelat im caudalen (Abbildung 14), nicht aber im rostralen MFG (Abbildung 15). Die gefundene Korrelation von BIS-Gesamt und corticaler Dicke im rechten caudalen MFG war signifikant positiv ($r = 0,259$ und $p = 0,045$). Die Differenz der Korrelationen zwischen Männern und Frauen war nicht signifikant.



Frauen rechts $r = 0,259$ und $p = 0,045$

Abbildung 14: Korrelation cMFG / BIS-Gesamt

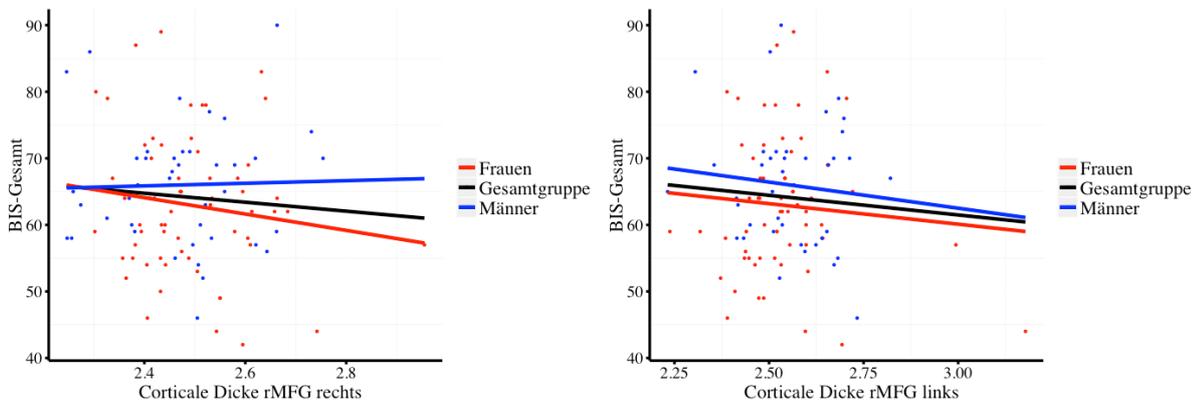
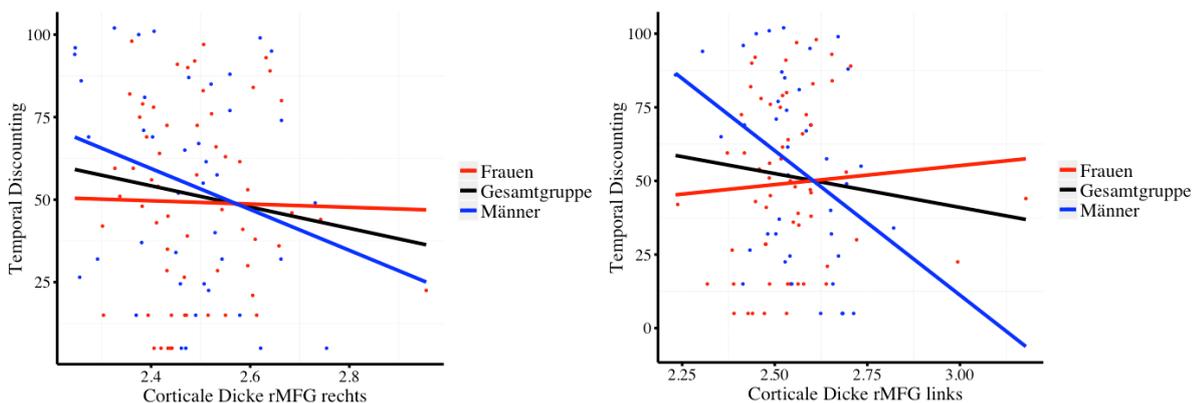


Abbildung 15: Korrelation rMFG / BIS-Gesamt

3.2.2.2 MFG und Temporal Discounting

Die mit Alter und Geschlecht als Kontrollvariablen analysierten partiellen Korrelationen von Temporal Discounting und den corticalen Dicken der MFGs zeigten für die gesamte Stichprobe sowie nur für Frauen keine statistisch signifikante Korrelation.

Nur für Männer zeigte sich jedoch eine Korrelation von Temporal Discounting mit dem linken rostralen MFG ($r = -0,408$ und $p = 0,009$) (Abbildung 16). Diese Korrelation war signifikant verschieden von der der Frauen ($Z = 2,225$; $p = 0,0261$). Für den caudalen MFG zeigten sich keinerlei signifikante Korrelationen (Abbildung 17).



Männer links: $r = -0,408$ und $p = 0,009$;
 $Z = 2,225$; $p = 0,026$

Abbildung 16: Korrelation: rMFG / TDA

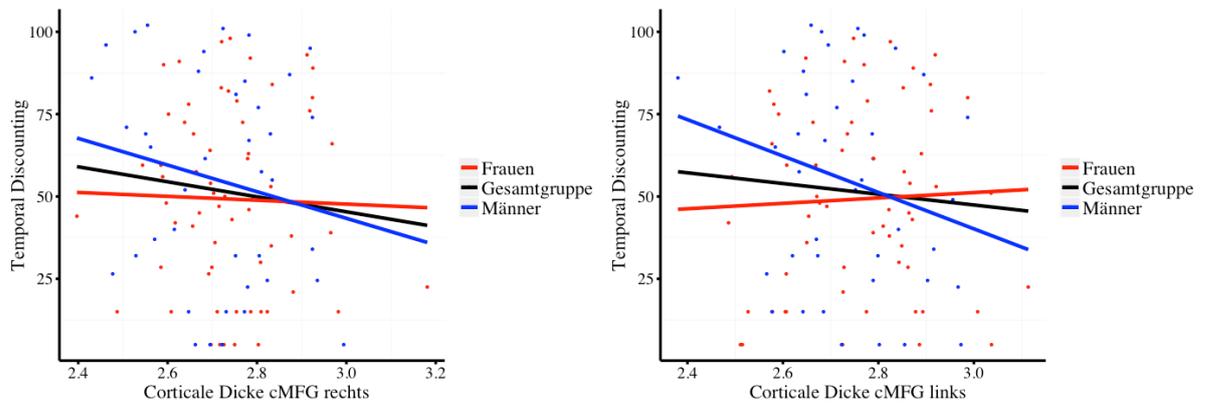


Abbildung 17: Korrelation cMFG / TDA

3.2.2.3 MFG und Stop Signal Reaction Time

Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der MFGs und der SSRT der Probanden zeigten sich, für Alter, Geschlecht und Schlafstunden korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.3 Orbitofrontaler Cortex

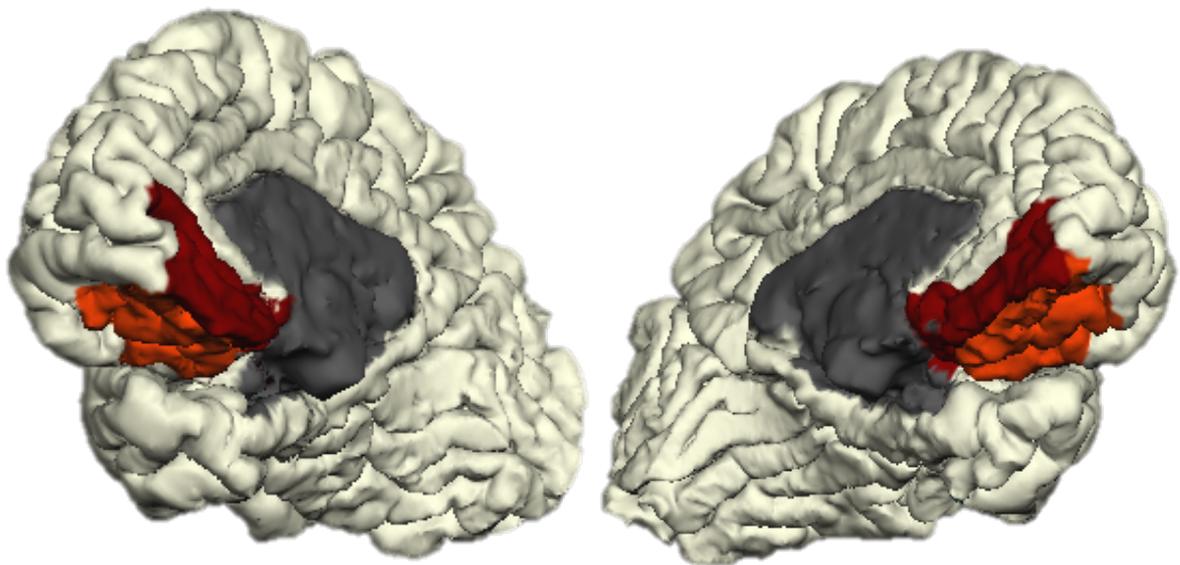


Abbildung 18: Medialer und lateraler Orbitofrontaler Cortex
medial dunkelrot, lateral hellrot

3.2.3.1 OFC und BIS-11

Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der OFCs (Abbildung 18) und der Ergebnisse der BIS-Gesamt, -Attention, -Motor oder -Nonplanning zeigten sich, für Alter und Geschlecht korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.3.2 OFC und Temporal Discounting

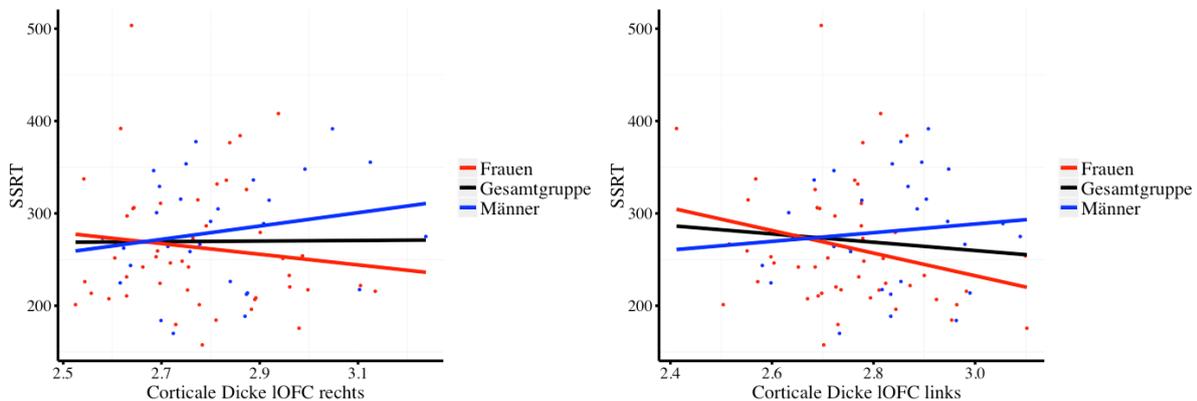
Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der OFCs und der Ergebnisse der TDA zeigten sich, für Alter und Geschlecht korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.3.3 OFC und Stop Signal Reaction Time

Die mit Alter, Geschlecht und Schlafstunden als Kontrollvariablen analysierten partiellen Korrelationen zeigten hinsichtlich der Korrelation von SSRT mit den corticalen Dicken der OFCs kein statistisch signifikantes Ergebnis für die Gesamtgruppe und die Männer.

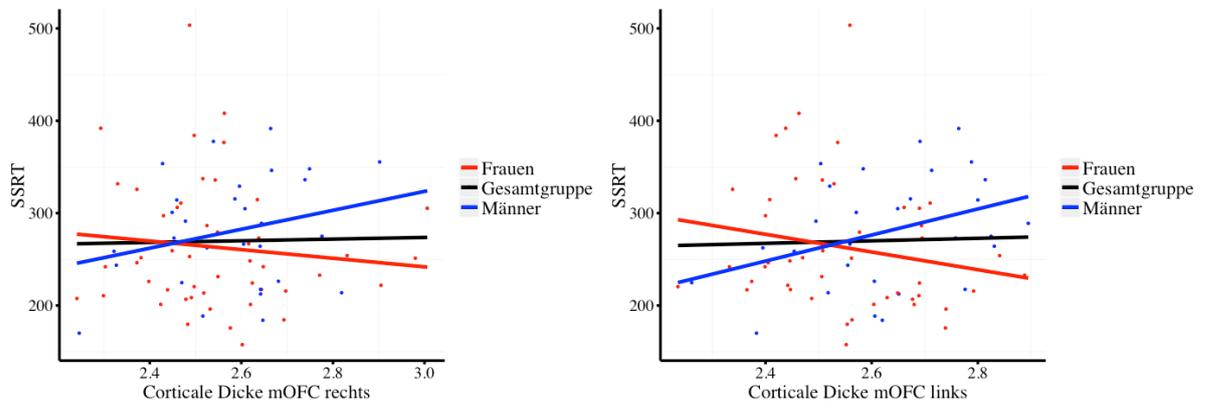
Für Frauen zeigte sich, für Alter und Schlafstunden korrigiert, eine signifikant negative Korrelation im linken IOFC ($r = -0,291$; $p < 0,049$) (Abbildung 19).

Ein signifikanter Korrelationsunterschied zwischen Männern und Frauen zeigte sich im linken mOFC ($Z = -2,0768$, $p < 0,0378$) (Abbildung 20).



Frauen links: $r = -0,291$, $p < 0,049$

Abbildung 19: Korrelation IOFC / SSRT



Geschlechtsdifferenz links:
 $Z = -2,0768$, $p = 0,0378$

Abbildung 20: Korrelation mOFC / SSRT

3.2.4 Inferiorer Frontaler Gyrus

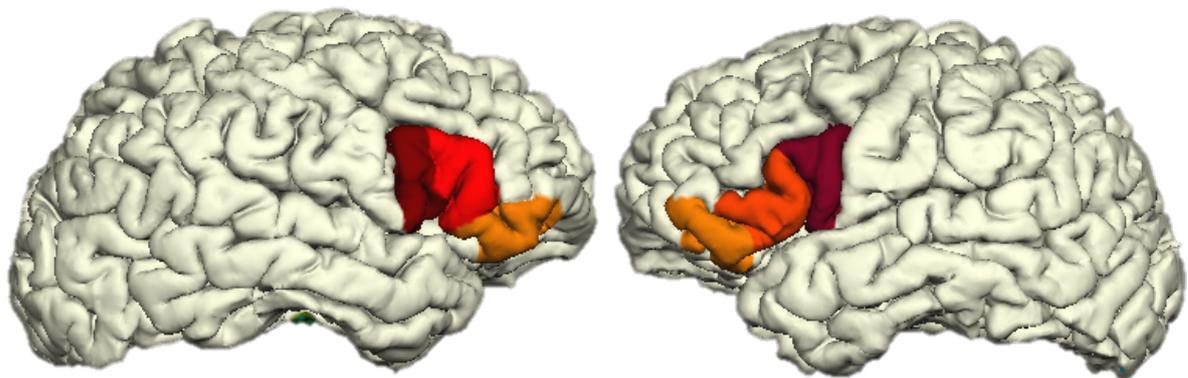


Abbildung 21: Inferiorer Frontaler Gyrus

Pars Orbitalis (orange), Pars Opercularis (rot), Pars Triangularis (dunkelrot)

3.2.4.1 IFG und BIS-11

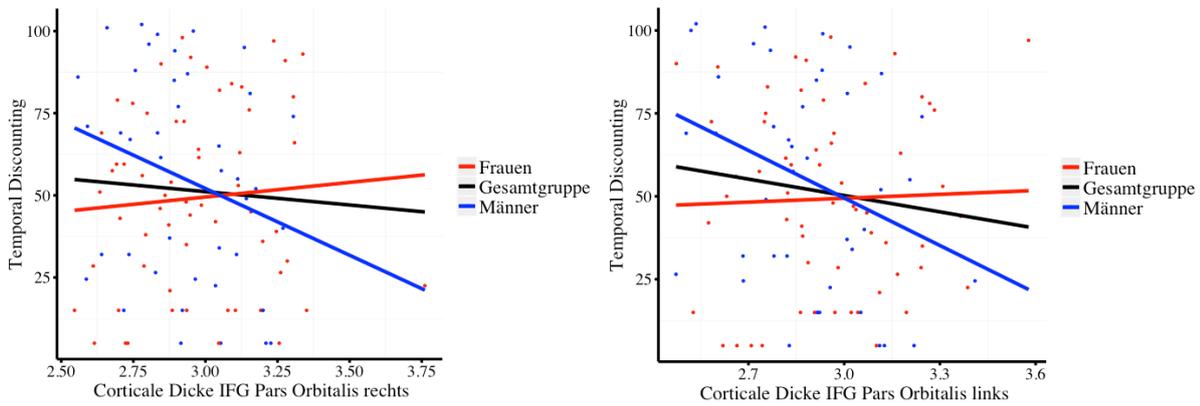
Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der IFGs (Abbildung 21), Pars Triangularis, Opercularis und Orbitalis, und der Ergebnisse der BIS-Gesamt, -Attention, -Motor oder -Nonplanning zeigten sich, für Alter und Geschlecht korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.4.2 IFG und Temporal Discounting

Die mit Alter und Geschlecht als Kontrollvariablen analysierten partiellen Korrelationen von Temporal Discounting mit der corticalen Dicken der IFGs zeigten für Gesamtgruppe und Frauen keine statistisch signifikanten Ergebnisse (Abbildung 22; Abbildung 23; Abbildung 24).

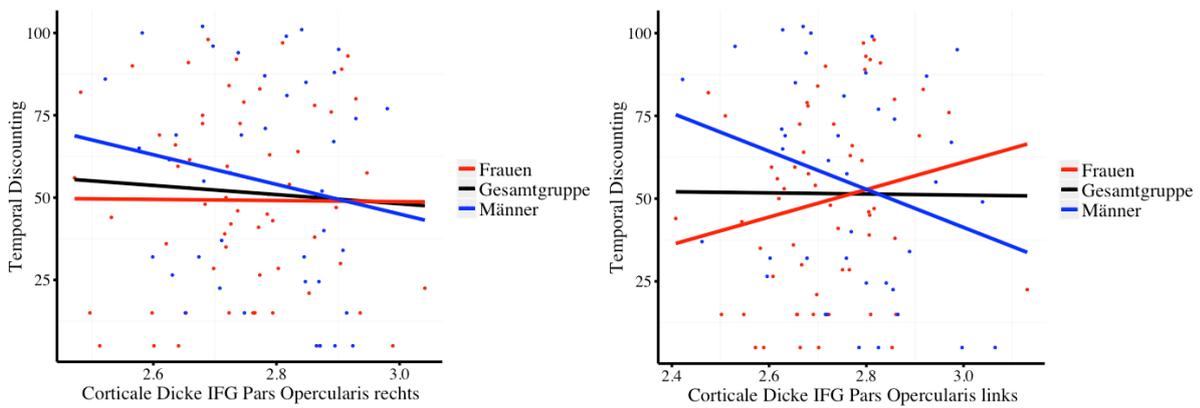
Für die Männer zeigten sich im linken IFG-Pars Orbitalis ($r = -0,338$; $p = 0,033$) und Pars Triangularis ($r = -0,328$; $p = 0,039$) signifikant negative Korrelationen (Abbildung 22; Abbildung 24).

Ebenfalls im linken IFG zeigten sich des Weiteren zwei signifikante Geschlechtsdifferenzen in der Pars Opercularis ($Z = 2,039$; $p = 0,046$) und Triangularis ($Z = 2,107$; $p = 0,032$).



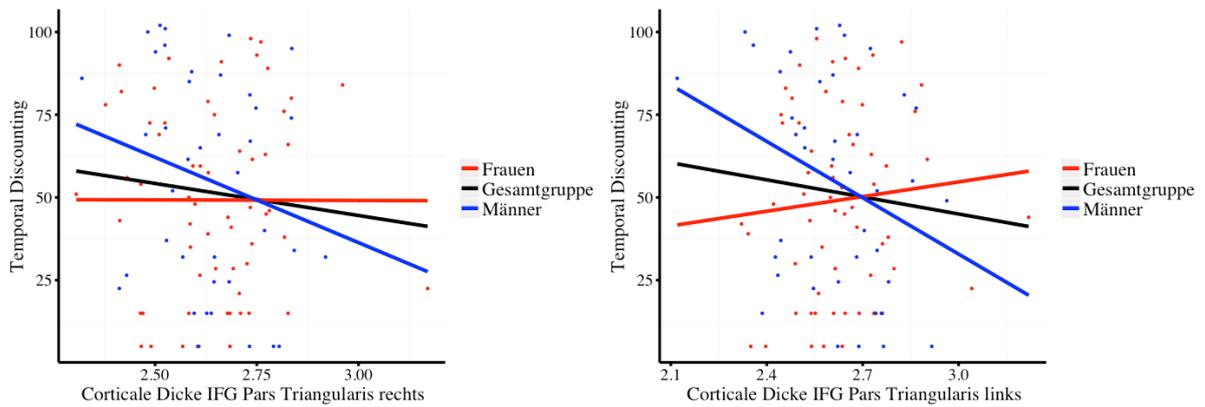
Männer links: $r = -0,338$; $p = 0,033$

Abbildung 22: Korrelation IFG-Pars Orbitalis / TDA



Geschlechtsdifferenz links: $Z = 2,039$; $p = 0,0415$

Abbildung 23: Korrelation IFG-Pars Opercularis / TDA



Männer links: $r = -0,328$; $p = 0,039$
 Geschlechtsdifferenz: $Z = 2,039$; $p = 0,041$

Abbildung 24: Korrelation IFG-Pars Triangularis / TDA

3.2.4.3 IFG und Stop Signal Reaction Time

Bezüglich der Korrelation zwischen corticaler Dicke der OFCs und der SSRT zeigten sich, für Alter, Geschlecht und Schlafstunden korrigiert, keine signifikanten Korrelationen oder Geschlechtsdifferenzen.

3.2.5 Überblick der signifikanten Testergebnisse

Die Temporal Discounting-Aufgabe wies als einziger Test zahlreiche Korrelationen in verschiedenen ROIs auf. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die gefundenen signifikanten Korrelate. In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die signifikanten Ergebnisse der Barratt Impulsiveness Scale und der Stop-Signal-Aufgabe aufgeführt.

Areal	Gesamtgruppe	Männer	Z-Wert (Differenz m/w)
SFG links	$r = -0,216$; $p = 0,031$	$r = -0,416$; $p = 0,008$	∅
IFG links Pars Orbitalis	∅	$r = -0,338$; $p = 0,033$	
IFG links Pars Opercularis	∅	∅	$Z = 2,107$; $p = 0,031$
IFG links Pars Triangularis	∅	$r = -0,328$; $p = 0,039$	$Z = 2,039$; $p = 0,041$
SFG rechts	∅	$r = -0,371$; $p = 0,019$	∅
rMFG links	∅	$r = -0,408$; $p = 0,009$	$Z = 2,225$; $p = 0,026$

Tabelle 4: Negative Korrelationen und Geschlechtsdifferenzen TDA und PFC

Areal	Frauen
cMFG rechts	$r = 0,259; p = 0,045$

Tabelle 5: Positive Korrelation BIS und PFC

Areal	Frauen	Z-Wert (Differenz m/w)
IOFC links	$r = -0,291; p = 0,049$	∅
mOFC links	∅	$Z = -2,077, p = 0,038$

Tabelle 6: Negative Korrelation und Geschlechtsdifferenz SSA und PFC

Ein tabellarischer Überblick sämtlicher präfrontaler partiellen Korrelationen mit jeweiligem Z-Wert (Geschlechtsdifferenz) findet sich im Anhang (siehe Tabelle 12 – Tabelle 17).

3.3 Korrelation der Impulsivitätsfaktoren untereinander

Die Korrelationsanalyse der einzelnen Testergebnisse zeigte keinerlei signifikante Korrelationen der verschiedenen Impulsivitätsfaktoren untereinander. Lediglich die Unterbereiche der BIS-11 korrelierten erwartungsgemäß mit BIS-Gesamt und untereinander. Hier zeigt sich die höchste Korrelation zwischen BIS-Nonplanning und BIS-Gesamt (Tabelle 7). Einbezogen wurden, wie in den vorherigen Auswertungen, 102 Probanden für BIS und Temporal Discounting sowie 77 Probanden für die SSRT und deren Korrelationen.

		Korrelationen					
		BIS-Gesamt	BIS-Attentional	BIS-Motor	BIS-Nonplanning	Temporal Discounting	Stop Signal Reaction Time
BIS-Gesamt (N = 102)	Korrelation nach Pearson		0,762*	0,808*	0,865*	0,119	0,022
	Signifikanz (2-seitig)		0,000	0,000	0,000	0,232	0,851
BIS-Attentional (N = 102)	Korrelation nach Pearson	0,762*		0,438*	0,472*	0,057	-0,036
	Signifikanz (2-seitig)	0,000		0,000	0,000	0,570	0,758
BIS-Motor (N = 102)	Korrelation nach Pearson	0,808*	0,438*		0,566*	0,061	0,052
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000		0,000	0,540	0,651
BIS-Nonplanning (N = 102)	Korrelation nach Pearson	0,865*	0,472*	0,566*		0,157	0,038
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000		0,114	0,746
Temporal Discounting (K-ranked) (N = 102)	Korrelation nach Pearson	0,119	0,057	0,061	0,157		-0,001
	Signifikanz (2-seitig)	0,232	0,570	0,540	0,114		0,992
Stop Signal Reaction Time (N = 77)	Korrelation nach Pearson	0,022	-0,036	0,052	0,038	-0,001	
	Signifikanz (2-seitig)	0,851	0,758	0,651	0,746	0,992	

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 7: Korrelationen der psychometrischen Tests untereinander

3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Als wesentliches Ergebnis der ROI-Untersuchungen zeigte sich eine negative Korrelation zwischen linkem SFG und der mittels TDA gemessenen Entscheidungsimpulsivität. Probanden, die sich eher für die kurzfristige, aber geringere Belohnungen entschieden, wiesen im SFG also eine geringere Cortexdicke auf als Probanden, die eher bereit waren, zugunsten der höheren Belohnung zu warten. Diese Korrelation zeigte sich nicht nur in der Gesamtgruppe, sondern auch in der Gruppe der Männer.

Bei derselben Aufgabe zeigten diese darüber hinaus linksseitig weitere negative Korrelate im rostralen MFG sowie im Inferioren Frontalen Gyrus, spezifischer in der Pars Triangularis und Orbitalis des IFG.

Frauen zeigten lediglich für die motorische Impulsivität ein negatives Korrelat. Hier zeigten Frauen mit hoher SSRT, also stärker ausgeprägten motorischen Impulsivität, geringere corticale Dicken des rechten lateralen OFC als Frauen mit kurzer SSRT. Dagegen zeigten Frauen für die selbstberichtete Impulsivität eine positive Korrelation zwischen BIS-Gesamt und caudalem rechten MFG.

Die Korrelationen der Testergebnisse mit den Arealen des PFC waren voneinander verschieden und unterstreichen die Annahme, dass es sich um distinkte Impulsivitätsfaktoren handelt, denen spezifische Hirnareale assoziiert sind. Die verschiedenen Testergebnisse korrelierten nicht untereinander.

Betrachtet man diese Testergebnisse vergleichend, fällt bei allen Tests, vor allem bezüglich des Temporal Discountings auf, dass die gefundenen Korrelationen deutliche Differenzen zwischen Männern und Frauen aufweisen. Die Korrelationen, die sich für BIS und SSRT zeigten, fanden sich jeweils nur für die Gruppe der Frauen, während sich fast alle gefundenen TD-Korrelate nur für Männer, nicht aber für Frauen zeigen. Für das einzige signifikante Ergebnis der Gesamtgruppe – die negative Korrelation zwischen linkem SFG und TD – fällt auf, dass dieses Ergebnis vor allem durch die starke Korrelation bei den Männern entsteht (Abbildung 12).

Allen signifikant negativen Korrelationen bei Männern zwischen Temporal Discounting und PFC stehen positive, wenn auch nicht signifikante Korrelationen bei den Frauen gegenüber, so dass die Korrelationen der Gesamtgruppen bezüglich des Temporal Discounting schwach ausfallen (Abbildung 12; Abbildung 16). Signifikante Geschlechtsunterschiede zeigten sich für die TDA sowohl im linken IFG (PT und POp), als auch im linken rMFG sowie für die SSRT im linken mOFC.

Neben 6 negativen Korrelaten in der TDA und einer in der SSRT fand sich lediglich für die BIS-Ergebnisse eine positive Korrelation zu corticaler Dicke.

Die gefundenen Korrelationen befanden sich für TDA und SSRT linkshemisphärisch (TDA 6, SSRT 1), für BIS (1) rechtshemisphärisch.

4. Diskussion

Ich untersuchte im Rahmen eines größeren Forschungsprojektes, der „Willpower-Studie“, die präfrontale corticale Dicke gesunder Probanden und deren Korrelate zu drei distinkten Impulsivitätsfaktoren „Selbstbericht“, „Entscheidungsimpulsivität“ sowie „motorische Impulsivität“. Hierfür wählte ich, der aktuellen Studienlage entsprechend, als Regions of Interest (ROIs) den MFG (mit rostralem und caudalem Anteil), den OFC (mit medialem und lateralem Anteil), den SFG und den IFG (mit Pars Triangularis, Pars Opercularis und Pars Opercularis). Durch diese dem Desikan-Killiany-Atlas entsprechende Unterteilung der Areale wurden schließlich acht bzw. beidseits 16 ROIs in die Hypothesen aufgenommen. Dabei legte ich einen Schwerpunkt auf die Identifizierung potentieller Differenzen zwischen beiden Geschlechtern. Diese wurden bezüglich corticaler Dicke, psychometrischer Tests und der entsprechenden Korrelationen untereinander überprüft. Darüber hinaus überprüfte ich mittels Korrelationsanalyse die Hypothese voneinander distinkter Impulsivitätsfaktoren.

Zu diesem Zweck wurden die MRT-Aufnahmen des Gehirns von 102 gesunden Probanden im Alter von 18 bis 35 untersucht und deren präfrontale corticale Dicke in Bezug zu den Ergebnissen dreier gut etablierter, die einzelnen Impulsivitätsfaktoren messender Testverfahren gesetzt. Die durchgeführten Test repräsentierten jeweils einen separaten Impulsivitätsfaktor: die BIS den Faktor Selbstbericht, die TDA den Faktor „Entscheidungsimpulsivität“ und die SSRT den Faktor „motorische Impulsivität“. Die gewonnenen Ergebnisse wurden mittels der Software FreeSurfer sowie der Statistikprogramme SPSS, Excel und R-Studio untersucht.

Da keines der Ergebnisse einer Korrektur für multiple Vergleiche standhielt, haben diese Ergebnisse lediglich hinweisenden Charakter. Es zeigten sich jedoch bei $p < 0,05$ einige meinen Hypothesen entsprechende Korrelationen, die Abschnitt 4.1 diskutiert werden. Das wichtigste Ergebnis zeigte sich diesbezüglich für die TDA. Hier zeigte die Gesamtgruppe eine signifikant negative Korrelation zur corticalen Dicke des linken SFG, die bisher nur bezüglich des Faktors Selbstbericht (BIS und TCI-R-1) gut belegt war (Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012). Zudem konnte ich zeigen, dass die Korrelationsverhältnisse vor allem bezüglich der TDA deutliche Differenzen zwischen den Geschlechtern zeigen. Hypothese 2, nach der sich eine negative Korrelation zwischen rechtem IFG und SSRT hätte zeigen sollen, konnte verworfen werden. Hypothese 3 und 4, die die Unabhängigkeit der Impulsivitätsfaktoren sowie die Geschlechtsdifferenz bezüglich der corticalen Korrelate postulierten, konnten bestätigt werden.

Nach der Diskussion meiner Hypothesen folgen in Abschnitt 4.2 eine Diskussion der Methoden sowie in Abschnitt 4.3 die Zusammenfassung mit einem Fazit meiner Arbeit.

4.1 Diskussion Ergebnisse

4.1.1 Hinweis zur Signifikanz

Die Signifikanzschwelle der diskutierten Ergebnisse war mit $p < 0,05$ hoch gewählt und hielt keiner Korrektur für multiple Vergleiche stand. Die Ergebnisse haben also lediglich einen hinweisenden Charakter. Die hohe Signifikanzschwelle muss beim Lesen und Interpretieren der Ergebnisse und deren Diskussion berücksichtigt werden.

4.1.2 Corticale Korrelate der psychometrischen Tests

Hypothese 1 lautete:

Bei gesunden Probanden zeigen sich negative Korrelate zwischen der Cortexdicke präfrontaler Areale und drei distinkten Impulsivitätsfaktoren: der mittels BIS-11 erfassten selbstberichteten Impulsivität, der mittels Temporal-Discounting-Aufgabe gemessenen Entscheidungsimpulsivität sowie der mittels SSRT erhobenen motorischen Impulsivität. Innerhalb des PFC erwarte ich dies literaturbasiert insbesondere für folgende ROIs:

- den Orbitofrontalen Cortex (medialer und lateraler Teil)
- den Mittleren Frontalen Gyrus (rostraler und caudaler Teil)
- den Superioren Frontalen Gyrus
- den Inferioren Frontalen Gyrus (Pars Opercularis, - Orbitalis, - Triangularis)

4.1.2.1 Negatives Korrelat: SFG links und TDA

Diese Hypothese konnte bezüglich der Korrelation zwischen TDA und linkem SFG bestätigt werden. Die Gesamtgruppe zeigte eine signifikante negative Korrelation zwischen linkem SFG und der Fähigkeit der Probanden, virtuelle Belohnungswerte auch über zeitliche Verzögerungen hinaus aufrechtzuerhalten. Dieser Zusammenhang konnte hier erstmals gezeigt werden. Ein entsprechendes negatives Korrelat zwischen Impulsivität und linkem SFG wurde, neben einer 2012 an 32 Probanden durchgeführten Studie, bereits 2013 in der bisher größten Studie zu corticalen Impulsivitätskorrelaten ($N = 1620$) von Schilling et al. als Hauptergebnis identifiziert. Diese beiden von Schilling durchgeführten Studien arbeiteten jedoch mit Impulsivitäts-Selbstbericht und nicht mit der Temporal-Discounting-Aufgabe (Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012). Ich

konnte daher erstmals zeigen, dass der SFG nicht nur mit dem Faktor selbstberichtete Impulsivität, sondern auch mit dem Faktor Entscheidungsimpulsivität korreliert zu sein scheint. Das Ergebnis von Schilling et al. bezüglich des Faktors Selbstbericht war von mir nicht replizierbar, allerdings weisen die Studien auch große Differenzen in ihrer Durchführung auf: So verwendeten Schilling et al. in ihrer großen Studie an 1620 gesunden Probanden nicht die BIS, sondern die TCI-R-1. Zudem handelte es sich bei den untersuchten Probanden um Jugendliche, deren Präfrontaler Cortex noch signifikante Unterschiede zu dem erwachsener Probanden aufweist. Im Gegensatz zu meiner ROI-spezifischen Analyse handelte es sich hierbei außerdem um eine voxelweise Untersuchung. Wenn man von diesen Differenzen absieht, könnte die Zusammenschau meiner Ergebnisse mit den Ergebnissen von Schilling et al. in gewisser Weise meine Annahme distinkter Impulsivitätsfaktoren in Frage stellen oder zumindest darauf hinweisen, dass sich bezüglich der entsprechenden corticalen Korrelaten dennoch Überlappungen finden lassen. Solche Schlüsse sind jedoch aufgrund der sehr unterschiedlichen Studiendesigns nur sehr vorsichtig zu ziehen.

4.1.2.2 Negatives Korrelat: beidseitiger SFG und TDA Männer

Für die Gruppe der Männer zeigte sich das negative SFG-Korrelat nicht nur linkshemisphärisch, sondern auch rechtshemisphärisch. Während gerade bezüglich gesunder Probanden linkshemisphärische Ergebnisse überwiegen, zeigten sich in klinischen Studien bisher ebenfalls keine eindeutige Lateralisierung für Impulsivitätskorrelate des SFG (siehe Abschnitt 1.2.6.3).

So fanden sich solche Korrelate bei ADHS-Patienten rechtshemisphärisch (Almeida et al., 2010), bei Patienten mit Alkoholproblematik aber linkshemisphärisch (Weiland et al., 2014). Bei Kindern mit einer ADHS-Diagnose (Shaw et al., 2006) und Marihuana-konsumierenden Adoleszenten zeigten sich reduzierte corticale Dicken der SFGs beidseitig (Lopez-Larson et al., 2011).

Wünschenswert wären hier weitere Studien, die die Korrelation des linken und rechten SFG mit den Impulsivitätsfaktoren Selbstbericht und Entscheidungsimpulsivität an einer größeren gesunden und erwachsenen Probandengruppe untersuchten. Auch über funktionelle MRT-Untersuchungen könnte man das Verständnis der Bedeutung des SFG für Impulsivität erweitern. Meinen Ergebnissen nach scheint mir hierbei vor allem eine geschlechtsspezifische Betrachtung der Ergebnisse unerlässlich. Dies scheint nicht nur für diese spezielle Korrelation, sondern allgemein für die Betrachtung corticaler Impulsivitätskorrelate zu gelten. Für die TDA zeigten sich – bis auf das Korrelat der Gesamtgruppe im linken SFG – auch die weiteren allesamt nega-

tiven Korrelate nur in der Gruppe der Männer. Bei den Frauen hingegen zeigten sich positive (wenn auch nicht signifikante) Ergebnisse, die die Korrelate der Gesamtgruppe sehr schwächten.

4.1.2.3 Negatives Korrelat: linker MFG und TDA Männer

Für die Gruppe der Männer konnte ich erstmals eine negative Korrelation zwischen corticaler Dicke des linken MFG und dem Faktor Entscheidungsimpulsivität zeigen. Dies kann gut mit Ergebnissen von Cho et al. in Einklang gebracht werden, die zeigen konnten, dass die Inaktivierung des rechten dlPFC, der zum größten Teil von MFG gebildet wird, zu einer höheren Diskontierungsrate führte (Cho et al., 2010). Weitere Studien konnten zeigen, dass der dlPFC für Zeitwahrnehmung – einer für das Diskontieren entscheidenden Größe – von Bedeutung ist (Koch et al., 2002; Koch et al., 2003; Rao et al., 2001). Der Befund eines negativen Korrelats kann, analog zum Korrelat im linken SFG, auch im Zusammenhang mit den zwei oben genannten Studien von Schilling et al. betrachtet werden (Schilling et al., 2013b; Schilling et al., 2012). Auch hier ist jedoch der kritische Unterschied, dass ich diese Korrelation erstmals für den Faktor Entscheidungsimpulsivität zeigte, während die Korrelate von Schilling et al. den Faktor Selbstbericht betrafen. Zudem zeigte sich dieser Zusammenhang bei Schilling für die Gesamtgruppe, während das von mir gefundene Korrelat sich nur bei Männern zeigte. Auch hier könnten weitere geschlechtsspezifische Untersuchungen der corticalen Dicke an gesunden Probanden aufschlussreich sein, um den Zusammenhang von Temporal Discounting und dem MFG, insbesondere bei Männern, besser zu verstehen.

4.1.2.4 Negatives Korrelat: linker IFG und TDA Männer

Interessanterweise zeigte sich für Männer ein weiteres negatives Korrelat zwischen TDA und linkem IFG, der bisher, wenn auch weniger als der rechte IFG, vor allem mit motorischer Impulsivität in Zusammenhang gebracht wurde (Ganos, Kahl und Haggard, 2014; Krämer, Solbakk, Funderud, Løvstad, Endestad und Knight, 2013; Swick, Ashley und Turken, 2008; Van der Meer, Groenewold, A., Pijnenborg und Aleman, 2011), obwohl es hierzu aktuell kontroverse Diskussionen gibt (Aron et al., 2014a; Aron, Robbins und Poldrack, 2014b; Swick und Chatham, 2014). Neben der bekannteren Bedeutung für motorische Impulsivität scheint diese Region jedoch auch für den Faktor Entscheidungsimpulsivität von Bedeutung zu sein. Es existieren mehrere Studien, die auf die enge Verflechtung motorischer Inhibition und Antwortauswahl, der sogenannten „Response Selection“ hinweisen (Chikazoe et al., 2009; Jasinska, 2013; Levy und Wagner, 2011; Swick, Ashley und Turken, 2011), unter anderem eine Metaanalyse

16 funktioneller Bildgebungsstudien von Rae et al. (Rae et al., 2014; siehe auch Abschnitt 1.2.6.4). Eine fMRT-Studie von Reckless et al. konnte zudem belegen, dass der linke IFG für flexible Entscheidungsfindung von zentraler Bedeutung ist (Reckless, Ousdal, Server und Walter, 2014).

Es wäre interessant, den genauen Zusammenhang von motorischer Impulsivität und Entscheidungsimpulsivität bzw. derer neuronalen Korrelate beispielsweise mit einer breiteren Testbatterie intensiver zu untersuchen. Vorstellbar wäre, dass ein Zusammenhang zwischen motorischer und Entscheidungsimpulsivität besteht, weil motorische Impulsivität möglicherweise die kürzeren, spontaneren Entscheidungen repräsentiert, während Entscheidungsimpulsivität als solche eher die bewusst gesteuerten Wahlmechanismen betrifft. Bei einer solchen Auffassung der motorischen Impulsivität wären diese beiden Faktoren eher als zwei Untergruppen einer Ordnung zu verstehen, die vielleicht noch stärker auch als Einheit betrachtet werden müssen und für die der IFG vielleicht eine Art gemeinsamer Nenner darstellt. Dies würde die oben genannten Studienergebnisse sowie den hier gezeigten Zusammenhang zwischen IFG und TDA erklären. Der IFG könnte eine zentrale Struktur für Impulsivität sein, die dann mit beiden – dennoch distinkten – Impulsivitätsaspekten Entscheidungsimpulsivität und motorische Impulsivität korreliert.

4.1.2.5 Positives Korrelat: linker caudaler MFG und BIS Frauen

Für Frauen zeigte sich im rechten caudalen MFG Frauen ein signifikant positives Korrelat zu den Ergebnissen der BIS. Obwohl die Lokalisation meiner Hypothese entspricht, ist die Korrelation selbst, anders als von mir erwartet, positiv und nicht negativ. Dieses Ergebnis ist interessanterweise mit einem Ergebnis von Gardini et al. in Einklang zu bringen, die 2009 in einer Studie an 143 gesunden Erwachsenen ebenfalls ein positives corticales Korrelat zwischen Impulsivitäts-Selbstbericht (TPQ-Bereich novelty seeking) und rechtem MFG fanden (Gardini et al., 2009). Lidaka et al. fanden in einer Studie an 56 Probanden ebenfalls für den Selbstbericht „novelty seeking“ ein positives Korrelat im linken MFG, während Schilling et al. die corticale Dicke des linken MFG gleich in zwei Studien als negatives Korrelat des Impulsiven Selbstberichtes identifizierten (Lidaka et al., 2006; Schilling et al., 2013a; Schilling et al., 2012). Bei der vergleichenden Betrachtung dieser Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass von all diesen Studien lediglich die von Schilling et al. mit N = 32 die BIS-11 verwendete (Schilling et al., 2012). In dieser Studie waren einige Parameter von unseren verschieden. So waren beispielweise 11 Raucher unter den Probanden. Zudem wurden die Analysen nicht ROI-spezifisch, sondern voxelspezi-

fisch für das gesamte Gehirn vorgenommen. Der gefundene Cluster befindet sich also nicht näher bezeichnet im MFG (Brodmann-Area 8, 46), während mein Ergebnis bedeutet, dass die Dicke des gesamten MFG bzw. rostralen oder caudalen MFG *im Mittel* positiv mit der BIS korreliert.

Dass sich auch positive Korrelationen der corticalen Dicke des PFC zu selbstberichteter Impulsivität finden, steht in Kontrast zu der angenommenen Theorie der analog zu Muskelmasse reagierenden corticalen Dicke, zeigte sich aber bereits in anderen Studien (Gardini et al., 2009; Lidaka et al., 2006; Schilling et al., 2013b). Über die Gründe für diese positiven Korrelationen kann bisher nur spekuliert werden. Ein Ansatz, diesen Zusammenhang zu verstehen, kann sein, Kompensationsmechanismen zu vermuten. Außer einem solchen Kompensationsmechanismus im Sinne eines stärkeren Wachstumsreizes durch besondere Bemühungen, das Verhalten an soziale Normen anzupassen, ist auch eine strengere Selbstwahrnehmung bei Frauen mit hoher corticaler Dicke vorstellbar. Zu den höheren BIS-Gesamt-Werten, die die Frauen mit dickerem rechten MFG erzielten, muss also nicht nur eine höhere Impulsivität beigetragen haben. Möglich ist es zum einen, dass besonders reflektierte Frauen strengere Angaben gemacht haben, weil ihnen beispielsweise stärker auffällt, wenn sie etwas nicht genug durchdacht oder vorbereitet haben. Eine weitere Interpretationsmöglichkeit für positive Korrelate der Impulsivität bietet sich grundsätzlich, wenn man die positiven Aspekte der Impulsivität berücksichtigt, die ihrerseits ebenso trainiert werden und damit zu Cortexwachstum führen könnten. Als solche Aspekte können Flexibilität, Aktivität, Schnelligkeit oder auch spontanes, mutiges Verhalten gelten. Ein solcher Mensch plant Ausflüge vielleicht nicht so gut (Item 7), macht aber dafür mehr davon und traut sich vielleicht eher aufregende Aktivitäten zu. Hier wäre also der positive Aspekt der Impulsivität derjenige, der zu neuronalem Wachstum und vermehrter corticaler Dicke führen würde.

Möglich ist jedoch auch, dass die Mechanismen, die zu Dickeveränderungen des Cortex führen, sehr viel komplexer sind als bisher angenommen. Diese sind so vielen Einflussvariablen wie Genetik, Geschlecht, Alter und Gesundheitszustand unterworfen, dass die bisherigen Probandenselektionen möglicherweise zu breit gefächert gewesen sein könnten und sowohl in den bisherigen als auch in dieser Studie Probanden mit so unterschiedlichen Reaktionsmechanismen miteinander verglichen worden sein könnten, dass klarere Zusammenhänge innerhalb einer engeren Gruppe möglicherweise überlagert wurden.

4.1.2.6 Negatives Korrelat: rechter lateraler OFC und SSRT Frauen

Eine weitere unserer Hypothese entsprechende Korrelation zeigte sich, ebenfalls nur für die Gruppe der Frauen, zwischen motorischer Impulsivität und dem rechten lateralen OFC. Dieses Ergebnis zeigte sich meines Wissens bisher noch nicht an gesunden Probanden. Wie in Abschnitt 1.2.6.1 beschrieben, existieren bereits zahlreiche Studien, die die Bedeutung des OFC für motorische Inhibition betonen (Bryden und Roesch, 2015; Chikazoe et al., 2009; Eagle, Baunez, Hutcheson, Lehmann, Shah und Robbins, 2008). Es lässt sich eine Verbindung zu Studien herstellen, die eine reduzierte Dicke des OFC bei ADHS- sowie Zwangspatienten feststellten (Atmaca et al., 2007; Hesslinger et al., 2002), von denen auch aus zwei großen Metaanalysen bekannt ist, dass sie höhere SSRTs aufweisen als gesunde Probanden (Lipszyc und Schachar, 2010; Oosterlaan et al., 1998). Die Auffassung, dass der OFC als zentrale Region der Inhibition begonnener Impulse, der sogenannten „Response Inhibition“, zu sehen ist, wird von unserem Ergebnis gestützt, ist jedoch nicht unumstritten (Aron et al., 2014a; Aron et al., 2014b).

Dem OFC werden außer der Impulsinhibition vor allem höhere Funktionen wie das Reversal Learning zugesprochen. Erfolgreiches Reversal Learning beinhaltet jedoch auch die Inhibition zuvor gelernter Antworten oder Verhaltensweisen. Möglich wäre, dass die vom OFC abhängende Fähigkeit des Reversal Learnings die SSRT mitbeeinflusst, da Frauen mit reduzierter OFC-Dicke ihr Verhalten bezüglich des Stoppens vielleicht weniger gut anpassen können als Frauen, die schneller aus Fehlern lernen und besser in die Stopping-Aufgabe hineinflinden. Bisher gibt es meines Wissens keine Untersuchungen dazu, in welcher Weise Reversal Learning mit der Performance in Stop-Aufgaben korreliert ist. Dies und die genaue Funktion des OFC für Response Inhibition sind mögliche weitere Forschungsziele.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass sich – andersherum – eine Korrelation zwischen der TDA und dem linken IFG fanden (siehe Abschnitt 4.1.2.4), während der Literatur nach für diesen eher ein Korrelat mit der SSRT zu erwarten gewesen wäre. Wie in Abschnitt 4.1.2.4 diskutiert, könnte dies darauf hinweisen, dass motorische Impulsivität und Entscheidungsimpulsivität zumindest zum Teil von denselben Strukturen abhängen und ihre Trennung vielleicht differenzierter vorgenommen werden muss. Bemerkenswert ist, dass sich dieses Korrelat von OFC und SSRT ausschließlich bei den Frauen zeigte, während Männer hier eine negative, wenngleich nicht signifikante Korrelation zeigten. Es ist vorstellbar, dass solche Effekte bei bisherigen Stu-

dien zur corticalen Dicke gesunder Probanden weniger deutlich geworden sind, wenn Daten nicht geschlechtsspezifisch untersucht wurden.

4.1.3 Korrelation der corticalen Dicke des rechten IFG mit der SSRT

Hypothese 2 lautete:

Die gut belegte Aktivierung im rechten IFG – ganz besonders der Pars Triangularis – bei der Ausführung von Stop-Signal-Aufgaben entsprechen in unserer Studie einer negativen Korrelation zwischen corticaler Dicke und der SSRT.

Die zweite Hypothese konnte nicht bestätigt werden.

Es finden sich mehrere sehr deutliche funktionelle MRT-Befunde bezüglich des Zusammenhangs zwischen IFG und motorischer Impulsivität bei Gesunden: Für Stop-Signal-Aufgaben wurden hier Aktivierungen im rechten IFG beschrieben (Aron und Poldrack, 2006; Aron et al., 2007; Aron et al., 2014a). Ein von mir erwartetes entsprechendes Korrelat zu corticaler Dicke zeigte sich jedoch nicht. Es scheint zumindest in diesem Fall so zu sein, dass sich Ergebnisse funktioneller Aktivierungen nicht ohne Weiteres auf die corticalen Strukturen übertragen lassen.

Zu meiner Hypothese trugen auch zwei Befunde zur corticalen Dicke des rechten IFG bei, die jedoch ADHS- und Trichotillomaniepatienten betrafen (Batty et al., 2010; Odlaug et al., 2014). Die Tatsache, dass sich diese Ergebnisse bei gesunden Probanden nicht replizieren lassen, könnte auch dafür sprechen, dass diese Korrelation nicht der motorischen Impulsivität der Patienten entsprach, sondern mit einem anderen Aspekt ihrer Pathologie in Zusammenhang stand.

In Anbetracht der Studienlage ist es dennoch überraschend, keinerlei Korrelation zwischen rechtem IFG und motorischer Impulsivität gefunden zu haben. Es ist nicht ausgeschlossen, dass ein üblicherweise bestehender Zusammenhang hier weniger stark ausgeprägt war oder durch methodische Unzulänglichkeiten verdeckt geblieben ist. Es wäre interessant, die Korrelation zwischen rechtem IFG und motorischer Impulsivität noch einmal an einer anderen gesunden Probandenstichprobe zu untersuchen, um sich ein sichereres Urteil bilden zu können.

4.1.4 Geschlechtsspezifische Differenzen der Korrelationen

Hypothese 3 lautete:

Die gefundenen Korrelationen weisen geschlechtsspezifische Differenzen auf.

Die dritte Hypothese kann bestätigt werden. Zwei der drei untersuchten Impulsivitätstestungen zeigten signifikante Korrelationsdifferenzen zwischen den Geschlechtern. In allen drei Testungen zeigte jeweils die eine Gruppe signifikante Ergebnisse, die andere aber nicht. So zeigten sich in der Gruppe der Männer allein für die TDA fünf negative Korrelationen, die bei den Frauen nicht zu sehen waren. Für die BIS-11 und die Stop-Signal-Aufgabe zeigten nur Frauen, nicht aber Männer signifikante Ergebnisse. Dieser Umstand wurde meines Wissens noch nicht veröffentlicht und sollte weiter untersucht und verstanden werden.

Interessant wäre hier vor allem, zu verstehen, was zu den unterschiedlichen Korrelationsstärken führt. Bei Ratten zeigte sich, dass männliche Gehirne anscheinend sensitiver auf Stress reagieren als weibliche: nach einer Mutter-Kind-Trennung zeigten Ratten im Vergleich zu anderen Ratten eine erhöhte Impulsivität sowie eine geringere corticale Dicke des PFC (Spivey, Shumake, Colorado, Conejo-Jimenez, Gonzalez-Pardo und Gonzalez-Lima, 2009). Dieser Effekt war bei den männlichen Ratten signifikant höher als bei den weiblichen. Bei Kindern mit ADHS zeigte sich, dass die pränatale Testosteronaussetzung (gemessen durch die sogenannte digit ratio, die das Verhältnis von Zeige- und Ringfinger misst) nur bei Jungen einen Einfluss auf die Ausprägung impulsiver Symptome hatte, während dies bei Mädchen nicht der Fall war (Martel und Roberts, 2014). Insgesamt findet sich jedoch noch wenig Literatur zu diesem Thema. Die Geschlechtsdifferenz der Korrelationen zwischen Impulsivität und corticaler Dicke unterstreicht jedoch die Notwendigkeit der Identifizierung der Mechanismen, die den hier untersuchten Korrelationen zugrundeliegen. Das Verständnis dieser Mechanismen wäre für das wachsende Forschungsfeld der corticalen Dickeuntersuchungen von wesentlichem Interesse. Ich gehe davon aus, dass zukünftige Untersuchungen etwaiger Korrelationen zwischen Verhalten und corticaler Dicke unbedingt geschlechtsspezifisch durchgeführt werden müssten.

4.1.5 Impulsivität als multifaktorielles Konstrukt distinkter Faktoren

Hypothese 4 lautete:

Der mittels BIS-11 gemessene Impulsivitäts-Selbstbericht, die mittels SST gemessene motorische Impulsivität und die mittels TDA gemessene Entscheidungsimpulsivität korrelieren als voneinander distinkte Faktoren nicht oder nur geringfügig miteinander.

Die Hypothese, dass Impulsivität ein multifaktorielles Konstrukt ist, das aus verschiedenen Teilbereichen besteht, wurde dadurch gestützt, dass die drei verwendeten gut etablierten Impulsivitätstests nicht miteinander korrelierten (Tabelle 11). Dies zeigt, dass sie unterschiedliche Faktoren messen und deutet mit dem Wissen, dass gut validierte Impulsivitätstests angewandt wurden, darauf hin, dass es sich tatsächlich um distinkte Faktoren der Impulsivität handelt.

Interessant ist, dass die von mir gefundenen Korrelate teilweise mit den Ergebnissen anderer Studien bezüglich eines jeweils anderen Impulsivitätsfaktors übereinstimmten. So zeigte sich zum Beispiel ein Korrelat von TDA und IFG sowie eines von SSRT und OFC, obwohl der Literatur nach das Gegenteil (also TDA und OFC und SSRT und IFG) zu erwarten gewesen wäre. Es gibt mittlerweile viele Hinweise darauf, dass der IFG nicht nur für motorische Impulsivität und Inhibition, sondern auch für Diskontieren und Entscheidungsauswahl von Bedeutung ist (Rae et al., 2014; siehe hierzu auch Abschnitt 1.2.6.2). Wenn es sich beim IFG um ein gemeinsames Korrelat beider Impulsivitätsfaktoren handelt und auch der OFC anscheinend für beide Impulsivitätsfaktoren von Bedeutung ist, so kann man sich fragen, ob motorische Impulsivität und Entscheidungsimpulsivität trotz einer fehlenden Korrelation zueinander nicht doch in engerer Beziehung zueinander stehen, als man dem t-Test nach annehmen würde. Die Reliabilität psychologischer Tests ist zudem nie perfekt, sodass auch Korrelationen untereinander nicht ganz exakt sein können. Eine Möglichkeit, dem zu begegnen, wäre die Durchführung mehrerer Tests zu jedem Impulsivitätsfaktor gewesen. Mittels latenter Strukturgleichungsmodelle oder einer Faktorenanalyse hätte man die Aussagekraft der Ergebnisse sicher erhöhen können. Die Durchführung solcher umfassenderen Analysen sowie funktionelle Untersuchungen könnten helfen, die Zusammenhänge der Impulsivitätsfaktoren untereinander noch besser zu verstehen.

4.2 Methoden

4.2.1 Probanden

Ich untersuchte, gemeinsam mit meiner Arbeitsgruppe, nach Ausschluss ungeeigneter Aufnahmen eine für MRT-Studien relativ große Stichprobe von 102 Probanden. Obwohl Schilling et al. im Rahmen des Imagen-Projektes bereits eine Studie mit 1640 Probanden durchführten, war unsere Probandenanzahl im Vergleich zu anderen vorausgegangenen Studien recht hoch (vergl. hierzu Tabelle 2). Da unsere Studie vor allem der Grundlagenforschung diente, schien es sinnvoll, eine junge, gesunde Population zu wählen. Durch das Kriterium „Student oder ehemaliger Student“ und die Alterskriterien versuchten wir eine gewisse Balance zwischen Homogenität und Heterogenität der Gruppe zu erreichen. Zudem konnten auch durch die Ausschlusskriterien (z.B. Drogen- und starker Nikotinkonsum) und die sowohl geschlechtsübergreifende als auch geschlechtsdifferente Untersuchung sowie die Herauspriorisierung der Störfaktoren Alter, Geschlecht und (bezüglich der SSRT) der Schlafstunden, wesentliche Confounder einer solchen Untersuchung weitgehend ausgeschlossen werden. Wir verließen uns bezüglich der Gesundheit auf die Selbstauskunft der Probanden. Ihre Teilnahme an dieser groß angelegten Studie implizierte jedoch auch das Ausfüllen weiterer psychologischer Tests. Auf diese Weise konnte bei einer Probandin die Diagnose einer sozialen Phobie gestellt werden. Sie wurde von unserer Studie ausgeschlossen.

4.2.2 Testungen

Wir verwendeten gut validierte, bekannte und vor allem verschiedene Impulsivitätsfaktoren erfassende Messinstrumente. Sowohl die BIS-Werte als auch die SSRT und das k der TDA sind jeweils für ihren Faktor die in der Literatur meist untersuchten Maße, wenngleich die genaue Durchführung von Stopping- und Temporal-Discounting-Aufgaben nicht immer dieselbe ist. Bisher existiert kein validiertes Messverfahren, das die verschiedenen Teilaspekte der Impulsivität gleichzeitig erfassen und in Bezug zueinander setzen könnte. Innovativ an dieser Studie war, dass ich die drei distinkten Impulsivitätsfaktoren separat erfasste, um die Aussagekraft unserer Untersuchung zu erhöhen. Wenngleich die Ergebnisse mit mehreren Tests pro Komponente und der Durchführung latenter Strukturgleichungsmodelle hätten optimiert werden können, untersuchte ich Impulsivität also bereits weit umfassend und unter Berücksichtigung ihrer einzelnen Faktoren.

Was die Bewertung der BIS-11 angeht, muss beachtet werden, dass Selbstbericht zum einen nur die Selbstwahrnehmung misst, zum anderen auch durch die soziale Erwünschtheit beeinflusst werden kann. Eine Schwierigkeit der behavioralen Impulsivitätsmessung ist, dass jeweils nur die resultierende Handlung eines Impulses gemessen werden kann, was die direkte Rückführung der Handlung auf den zugrundeliegenden Impuls nur mit gewissen Einschränkungen erlaubt. Ein Proband, der seinen starken Impuls aufgrund hoher Motivation stark kontrolliert, schneidet beispielsweise in einer motorischen Impulsivitätstestung wie der Stop-Signal-Aufgabe ebenso gut oder schlecht ab wie der weniger impulsive, aber unmotiviert Proband, der nur wenig Kontrolle übt. Impulsives Verhalten wird zudem von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst. So zeigten Baumeister und Heatherton sowie Mischel (Baumeister und Heatherton, 1996; Mischel, Ebbesen und Zeiss, 1972), dass akuter und chronischer Stress zu impulsiverem Verhalten führt. Jeder kennt aus dem Alltag Stressoren, die das Ausmaß seiner Impulsivität beeinflussen: Schlafmangel, Anspannung und Hunger sind nur die deutlichsten Beispiele. Die Modulierbarkeit durch äußere und innere Stressoren betrifft sowohl impulsive Aktionen als auch impulsive Entscheidungen. So konnte gezeigt werden, dass schon kognitive Beanspruchung zu impulsiveren Entscheidungen führt: Probanden, die sich kurz zuvor eine anspruchsvolle Zahlenfolge merken mussten, wählten häufiger einen (kurzfristig besseren) Schokopudding gegenüber (langfristig besserem) Obstsalat als Probanden, die sich vor der Wahlsituation weniger merken mussten und somit offenbar „den Kopf frei“ hatten, den Impuls nach schneller Belohnung zu kontrollieren (Shiv und Fedorikhin, 1999).

Wir versuchten daher in unserer Studie, die wichtigsten Störfaktoren auszuschließen. Wir arbeiteten mit standardisierten Instruktionen, immer im gleichen Testraum und gut reliablen Testverfahren. Während der Auswertung wurden wesentliche Confounder wie Alter, Geschlecht und Anzahl der Schlafstunden berücksichtigt. Dennoch wurden mögliche Stressoren wie akustische Störungen, die im Rahmen der Baumaßnahmen an der Charité gelegentlich auch während der Testungen vorkamen, verschiedene Sättigungszustände sowie bei Frauen die Phase des Menstruationszyklus nicht in dieser Auswertung berücksichtigt. Weitere Studien zur Impulsivität könnten, bezüglich der Testdurchführung, aus meiner Sicht auch optimiert werden, indem Probanden um die annähernd selbe Tageszeit getestet würden, um die zirkadiane Rhythmik wie beispielsweise den über die Tageszeit schwankenden Cortisolspiegel besser zu berücksichtigen. Zudem könnte man hormonelle Verhütung bei Frauen zum Ausschlusskriterium machen und die Frauen dann zur gleichen Phase ihres Zyklus einbestellen. Auch ein bestimmter Blutzuckerbereich oder

ähnlicher Sättigungszustand zum Testzeitpunkt könnte zu reliableren Ergebnissen führen. Solche Maßnahmen sind gerade bei großen Studien aufwendig, könnten sich aber bei dieser Thematik durchaus lohnen, da sich zum wiederholten Maße zeigte, dass Impulsivitätsmessung ein sehr sensibles Feld ist und auch starke Ergebnisse nicht unbedingt in anderen Studien repliziert werden können.

4.2.3 Auswertung

Als besondere Herausforderung bei der Auswertung der Ergebnisse erwies sich die manuelle Korrektur der MRT-Bilder. Hierbei wurde nach dem vom FreeSurfer-Programm empfohlenen Vorgehen verfahren. Nach verschiedenen Kontrollen der einzelnen Arbeitsschritte wurden die Bilder Schicht für Schicht kontrolliert und bei Bedarf manuell angepasst, wenn die Grenze zwischen grauer und weißer Substanz unscharf gerissen war. Dies wurde nur bei kleineren Defekten vorgenommen, Bilder mit größeren Fehlern wurden ausgeschlossen. In den Fällen, in denen korrigiert wurde, wurde möglichst konservativ vorgegangen, dennoch war dieser Teil der Arbeit zwangsläufig in gewissem Maße fehleranfällig, da die ganz exakte Bestimmung der Grenze unter Berücksichtigung dreier Dimensionen – in Fällen, in denen mit digitalen Mitteln keine klare Grenze zu ziehen war – schwierig ist. Für die Bewertung und Vergleichbarkeit mit unterschiedlichen Studienergebnissen in diesem Bereich muss berücksichtigt werden, dass nicht nur die unterschiedlichen Probandenpopulationen und teils differierenden Testbatterien, sondern auch Unterschiede der verwendeten MRT-Geräte, der Software bzw. FreeSurfer-Version sowie der rechnenden Computer die Interpretation und Vergleichbarkeit bestehender Ergebnisse erschweren (Gronenschild et al., 2012; Han et al., 2006).

Ich entschied mich in dieser Untersuchung aus mehreren Gründen für eine ROI-basierte Auswertung. In erster Linie ging es mir darum, die in den Hypothesen aufgenommenen präfrontalen Strukturen auf ihre Impulsivitätskorrelation hin zu überprüfen. Eine Schwierigkeit bei der Auswertung der bestehenden Literatur sind die teils undeutlichen Lokalisierungen gefundener Cluster. So werden die präfrontalen Areale häufig nicht einheitlich bezeichnet, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwert. Findet sich ein Cluster zwischen mehreren Arealen, wird die Lokalisation häufig mit einem größeren Areal wie beispielsweise dem dlPFC angegeben. FreeSurfer ermittelt auch bei voxelgenauer Untersuchung der Bilder mittels des Statistikprogramms Qdec dennoch Clusterkoordinaten und statistische Angaben innerhalb der einzelnen Areale des Desikan-Killiany-Atlas, was beispielsweise bei einem großen arealübergreifenden Cluster zu ei-

ner Tabelle vieler einzelner verschieden bezeichneter kleiner Cluster führt und eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien weiter erschwert. Dieser Ansatz wurde hier nicht präsentiert, jedoch im Rahmen der Auswertungen für alle ausgewerteten Tests durchgeführt. Er führte zu zahlreichen verstreuten, teils sehr kleinen Clustern, die nur schwer eine Aussage über die von mir untersuchten ROIs erlaubten. Daher erfolgte meine Auswertung anhand gemittelter Cortexdicken der präfrontalen Areale. Dies hatte vor allem für die Veranschaulichung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse Vorteile, barg allerdings auch den potentiellen Nachteil, dass ein kleiner, aber signifikanter Cluster – inmitten eines größeren Areals mit sehr geringer Korrelation – hätte übersehen werden können. Durch eine im Vorfeld durchgeführte „Whole-brain-Analyse“ mittels FreeSurfer konnte dies jedoch ausgeschlossen werden.

Die Signifikanzschwelle, die ich nach Prüfung anderer Möglichkeiten wählte, war mit $p < 0,05$, unkorrigiert für diese Art der Untersuchung sehr liberal. Eine Korrektur für die Anzahl der untersuchten ROIs war nicht möglich, ohne allen Ergebnissen ihre Signifikanz abzusprechen. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen jedoch klare Trends und sind, vor allem was das Ergebnis der TDA und die Differenz zwischen den Geschlechtsgruppen angeht, aus meiner Sicht dennoch geeignet, Impulse für weitere Untersuchungen zu liefern. Daher präsentiere ich diese Ergebnisse trotz des liberalen Signifikanzwerts, jedoch nicht ohne die Anmerkung, dass Ergebnisse bei einer solchen Schwelle lediglich hinweisenden Charakter haben und in jedem Fall weiteren Überprüfungen unterzogen werden müssen.

4.2.4 Stärken

Impulsivität ist auch für gesunde Menschen von zentraler Relevanz. Zum einen, weil der Alltag stark von Situationen geprägt ist, die mehr oder weniger impulsives Verhalten erfordern, zum anderen, weil Impulsivität ein Risikofaktor für zahlreiche psychiatrische Erkrankungen zu sein scheint und daher ein mögliches Ziel für Präventionsarbeit bietet.

Eine Stärke dieser Arbeit war die multifaktorielle Impulsivitätserfassung, auf die im Zusammenhang mit der Messung corticaler Dicke zum ersten Mal geachtet wurde. So beschränkte ich mich, anders als die allermeisten bisherigen Studien, nicht auf die Erfassung eines Impulsivitätsfaktors, sondern bezog die wesentlichen Impulsivitätsfaktoren Selbstbericht, Entscheidungsimpulsivität und motorische Impulsivität mit ein. Dies ermöglichte eine differenziertere Betrachtung dieser Faktoren, als es bisher der Fall war. Zudem ermöglichte der Schwerpunkt der Geschlechtsdiffe-

renzen weitere Einblicke in die untersuchten Zusammenhänge, die ebenfalls so noch nicht erforscht wurden. Eine weitere Stärke war die für MRT- Untersuchungen hohe Probandenzahl von 102 Probanden. Dass es sich hierbei um gesunde Probanden und nicht um Patienten handelte, ist ebenfalls von Bedeutung, da bisherige Patientenstudien teils nur sehr eingeschränkt auf gesunde Menschen übertragbar sind. Die Interpretation solcher Ergebnisse ist besonders bei substanzabhängigen oder mit Psychopharmaka behandelten Patienten schwierig, bei denen morphologische Besonderheiten des Gehirns zum einen pathologischen Ursprungs, zum anderen aber auch Folge toxischer Einwirkung sein können (Ersche et al., 2011; Matsuo et al., 2009; Schiffer, et al., 2010). Um zukünftig prognostischen oder gar diagnostischen Nutzen aus der Untersuchung corticaler Dicke ziehen zu können, ist es daher unerlässlich, ein möglichst genaues Bild der Verhältnisse bei Gesunden zu haben.

Ich denke, dass vor allem mein Ergebnis bezüglich der Geschlechtsdifferenzen der Korrelationen zwischen corticaler Dicke und der Impulsivität geeignet ist, spätere Untersuchungen in diesem Bereich zu optimieren und die Forschung dadurch voranzubringen. Auch die signifikante Korrelation des linken SFG mit dem Temporal Discounting konnte hier erstmals gezeigt werden und ist ein wichtiger Beitrag zum Verständnis der Impulsivitätskorrelate im Präfrontalen Cortex.

4.2.5 Limitationen

Meine Arbeit hatte gewisse Limitationen. Kritikpunkte wären folgende:

Die Messung der Impulsivität ist problematisch. Dies ist unter anderem der Tatsache geschuldet, dass noch wenig Einigkeit über das Konstrukt der Impulsivität selbst herrscht. Dies erschwert nicht nur die Wahl adäquater Messinstrumente, sondern auch die Vergleichbarkeit mit anderen Studien. Ich versuchte dieser Schwierigkeit durch die Erfassung der drei Impulsivitätsfaktoren mit gut validierten Tetsts so gut wie möglich zu begegnen.

Die Probanden wurden vor Studienteilnahme nicht von einem Arzt auf somatische und psychische Erkrankungen untersucht. Obwohl zu diesem Selbstbericht auch gut validierte Screeningtests für psychiatrische Erkrankungen gehörten, wurde sich hierbei auf den Selbstbericht der Probanden verlassen, die Gesundheit und Drogenabstinenz vor Aufnahme in die Studie schriftlich bestätigten.

Die Stop-Signal-Aufgabe wurde nicht allein, sondern in Kombination mit einem Stroop-Test durchgeführt. Dieser Einfluss betraf zwar alle Probanden, könnte aber dennoch die Ergebnisse beeinträchtigt haben. Die Befunde von Baumeister et al. sprechen dafür, dass Selbstkontrolle eine erschöpfliche Ressource ist (Baumeister, Bratslavsky, Muraven und Tice, 1998). Daher ist die Durchführung von Impulskontrolle benötigten Aufgaben immer auch abhängig von den zuvor absolvierten Aufgaben. Es wäre also vorstellbar, dass die Art des zuvor absolvierten Trials Einfluss auf die SSRT genommen hat. Die Stroop-Aufgaben waren, wie bereits beschrieben, in kongruente und inkongruente Trials unterteilt. Innerhalb der inkongruenten Trials gab es noch eine Unterscheidung, die zu unterschiedlichen Schwierigkeiten führte. Teilweise war nur das Farbwort inkongruent, erforderte jedoch das Drücken desselben Knopfes (beispielsweise wenn „grün“ in blau geschrieben war, da für beides links zu drücken war), teilweise war nicht nur das Wort, sondern auch der zu drückende Knopf inkongruent (beispielsweise „rot“ in blauer Farbe geschrieben). Solche Schwierigkeiten könnten dazu geführt haben, dass Probanden bei der darauf folgenden Stop-Signal-Aufgabe weniger in der Lage gewesen sind, Impulskontrolle auszuüben.

Obwohl Ergebnisse von Baumeister et al. darauf hindeuten, dass die Ausübung von Selbstkontrolle auch von der Glukosekonzentration im Blut abhängt, untersuchten wir diese nicht (Baumeister, Muraven und Tice, 2000). Man hätte die Probanden bitten können, nüchtern zu erscheinen, und ihnen dann ein jeweils gleiches Frühstück anbieten können, um zu große Blutglukosekonzentrationsdifferenzen zwischen den Probanden zu vermeiden. Dies ist natürlich mit größerem Aufwand verbunden, hätte aber, ähnlich wie die Beachtung der Zyklusphase bei den Frauen, die nachweislich für die Impulsivität von Bedeutung ist, zu aussagekräftigeren Ergebnissen beitragen können. Nicht berücksichtigt wurde in dieser Auswertung auch die genetische Komponente der Impulsivität, obwohl vor allem die verschiedenen Polymorphismen des Dopaminhaushaltes wie COMT, DAT oder DRD2 deutliche Einflüsse auf den Neurotransmitterhaushalt nehmen, der für Impulsivität äußerst relevant ist (Paloyelis, Asherson, Mehta, Faraone und Kuntsi, 2010; White, Morris, Lawford und Young, 2008; Esposito-Smythers, Spirito, Rizzo, McGeary und Knopik, 2009). Auch andere Einflussfaktoren wie Alter oder Gesundheitsstatus hätten restriktiver und innerhalb der Gruppe gleichförmiger selektiert werden können. Hier zeigt sich jedoch auch die besondere Schwierigkeit des Erfassens einer so sensiblen und von so vielen Faktoren abhängigen Variablen wie Impulsivität, denn jedes weitere Kriterium erhöht natürlich den Aufwand einer Studie.

Die Auswertung der Ergebnisse mittels FreeSurfer wurde den programmeigenen Vorgaben entsprechend durchgeführt. Leider mussten zahlreiche Aufnahmen aufgrund zu schlechter Qualität ausgeschlossen werden. Möglich ist, dass die MRT-Sequenz besser hätte gewählt werden können, um von FreeSurfer besser auswertbare Bilder – und damit vielleicht aussagekräftigere Ergebnisse – berechnen lassen zu können, jedoch unterlag die Art der Messungen selbstverständlich auch finanziellen Gesichtspunkten.

Die Ergebnisse standen keiner Korrektur für multiple Vergleiche stand und haben damit lediglich hinweisenden Charakter.

4.2.6 Ausblick

Das zunehmend verwendete Verfahren der Messung corticaler Dicke kann sicherlich zukünftig wertvolle Hinweise auf strukturell-funktionelle Beziehungen liefern. Für ein ausreichendes Verständnis solcher Ergebnisse werden jedoch weitere Erkenntnisse benötigt. So muss noch mehr über die Funktion der präfrontalen Areale, ihre Beziehungen untereinander sowie über die genauen Mechanismen, die die Korrelation zwischen corticaler Dicke und psychischen Eigenschaften bedingen, verstanden werden. Besonders interessant ist dabei die Frage, wann das Training oder Ausleben einer Eigenschaft zu einem Cortexwachstum in der entsprechenden Region führt, wann das Gegenteil der Fall ist und warum das so ist. Bezüglich der positiven Korrelate zu Impulsivität werden Kompensationsmechanismen vermutet. Diese sind jedoch bisher nicht vorhersehbar, sodass die Richtung einer Korrelation allgemein nicht zuverlässig mit sehr starker oder schwacher Ausprägung einer Eigenschaft in Verbindung zu bringen ist.

Mögliche Verbesserungen bei der Erforschung dieses wichtigen Themas sehe ich in Zusammenhängen verschiedener Arbeitsgruppen, die eher wenige sehr große als viele kleine Studien ermöglichen würden. Denn die Vergleichbarkeit bestehender Studien zum selben Thema wird durch verschiedene Tests, Messverfahren und Auswertungsmethoden bis hin zu unterschiedlichen Auffassungen über Signifikanzen, Korrekturen, Hirnareale und Lokalisationsbeschreibungen sehr erschwert und steht einem besserem Verständnis der Zusammenhänge im Wege. Möglich wären größere Kooperationen oder auch nur die Abgleichung einzelner Vorgehen und Arbeitsschritte. Meine Ergebnisse sprechen dafür, Impulsivität zukünftig multifaktoriell zu erfassen und Ergebnisse diesbezüglich auch geschlechtsspezifisch zu differenzieren.

Das genaue Verhältnis der Impulsivitätsfaktoren und ihrer Korrelate untereinander muss noch detaillierter ergründet werden. Ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge könnte zukünftig bei der Entwicklung einer umfassenden Testbatterie zur Impulsivitätsmessung helfen, die diagnostisch sehr wertvoll sein könnte.

4.3 Zusammenfassung und Fazit

Meine Untersuchung ergab drei wesentliche Ergebnisse: Es zeigte sich für die Gesamtgruppe ein negatives Korrelat zwischen Entscheidungsimpulsivität und linkem Superioren Frontalen Gyrus. Männer, nicht aber Frauen, zeigten für Entscheidungsimpulsivität zahlreiche negative Korrelate im linken PFC vor allem im SFG. Darüber hinaus zeigten Männer und Frauen insgesamt deutlich unterschiedliche Korrelate zwischen PFC und Impulsivität.

Die aufgestellten Hypothesen konnten teilweise bestätigt werden. Während vor allem die Ergebnisse der Männer den von mir erwarteten Lokalisationen und Korrelationsrichtungen weitgehend entsprachen, waren die Korrelationsrichtung bezüglich BIS-11 sowie die Lokalisation der Korrelation zwischen SSRT und OFC bei Frauen unerwartet. Vor allem die in Zusammenhang mit der TDA gefundenen Korrelate stützen jedoch meine Hypothese, dass impulsivere Probanden tendenziell *geringere* corticale Dickewerte in präfrontalen Arealen aufweisen als weniger impulsive.

Interessanterweise zeigten sich in vielen der untersuchten Regressionsgraden gegenläufige Tendenzen von Frauen und Männern. Dies kann, auch wenn sich nur einige wenige statistisch signifikante Geschlechtsdifferenzen in SFG, IFG und OFC zeigten, Anlass sein, bei der Auswertung späterer Studien verstärkt auf geschlechtsspezifische Auswertungen zu achten.

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse der gefundenen Korrelationen die Annahme, dass diese drei gewählten Impulsivitätsmessungen unterschiedliche und distinkte Aspekte der Impulsivität erfassen. Es zeigten sich jedoch vorsichtige Anzeichen dafür, dass sich die corticalen Substrate der Impulsivitätsfaktoren motorische Impulsivität und Temporal Discounting teilweise überlappen. So zeigen sich in IFG und OFC in Zusammenschau meiner Ergebnisse mit der Literatur Korrelationen mit beiden Impulsivitätsfaktoren. Solche Überlegungen sind recht explorativ. Es wäre jedoch interessant, den Zusammenhang von motorischer Impulsivität und Entscheidungsimpulsivität bzw. deren funktionalen oder corticalen Substraten genauer zu beleuchten.

Mein Ergebnis, nach dem die Korrelate von Temporal Discounting und corticaler Dicke bei Männern ausgeprägter als bei Frauen zu sein scheinen, wurde meines Wissens in dieser Studie erstmals festgestellt. Bezüglich der BIS und der SSRT zeigten sich die Differenzen schwächer, waren jedoch auch vorhanden, wobei hier jeweils nur die Frauen ein signifikantes Ergebnis aufwiesen. Ich hoffe mit dem Hinweis auf geschlechtsdifferenzierte Untersuchungen dabei helfen zu können, zukünftige Ergebnisse zu spezifizieren und damit zu verbessern.

Meine Ergebnisse machen in Zusammenschau mit der widersprüchlichen Literatur deutlich, dass noch viele Fragen bezüglich des Zusammenwirkens der präfrontalen Areale und dem Zusammenhang mit Impulsivität und Impulskontrolle offen sind. Impulskontrolle und PFC verhalten sich ganz offensichtlich nicht so vorhersehbar wie Sport und Muskeln zueinander. Eine Herausforderung für die Zukunft wird sein, sämtliche für die corticale Plastizität wesentliche Einflussfaktoren zu identifizieren, um Ergebnisse davon bereinigt betrachten und verstehen zu können. Die Dissoziierung und Funktionszuordnung einerseits distinkter, andererseits durch multiple Netzwerke miteinander verbundener Hirnareale, deren Mechanismen, Beziehungen und Beeinflussungen nicht ausreichend bekannt sind, sind schwierig. Die Beantwortung meiner Fragestellung blieb daher undeutlicher als zunächst erhofft und wirft weitere Fragen auf, wenngleich sich dennoch einige wertvolle Erkenntnisse und Hinweise für die weitere Forschung finden ließen. Daher schließt diese Arbeit mit einem schönen Satz von Professor John Duncan:

„To this extent, the data confirm that understanding of prefrontal functions is a difficult problem.“

(Duncan und Owen, 2000)

Literaturverzeichnis

- Allen, J. S., Damasio, H., Grabowski, T., Bruss, J., & Zhang, W. (2003). Sexual dimorphism and asymmetries in the gray-white composition of the human cerebrum. *Neuroimage*, *18*(4), 880-894. doi:10.1016/S1053-8119(03)00034-X.
- Almeida, L. G., Ricardo-Garcell, J., Prado, H., Barajas, L., Fernández-Bouzas, A., Ávila D., D., & Martínez, R. B. (2010). Reduced right frontal cortical thickness in children, adolescents and adults with ADHD and its correlation to clinical variables: A cross-sectional study. *Journal of Psychiatric Research*, *44*(16), 1214-1223. doi:10.1016/j.jpsychires.2010.04.026.
- Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2006). Cortical and subcortical contributions to Stop signal response inhibition: role of the subthalamic nucleus. *Journal of Neuroscience*, *26*(9), 2424-2433. doi:10.1523/jneurosci.4682-05.2006.
- Aron, A. R., Behrens, T., Smith, S., Frank, M. J., & Poldrack, R. A. (2007). Triangulating a cognitive control network using diffusion-weighted magnetic resonance imaging (MRI) and functional MRI. *Journal of Neuroscience*, *27*(14), 3743-3752. doi:10.1523/jneurosci0519-07.2007.
- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature Neuroscience*, *6*(2), 115-116. doi:10.1038/nn1003.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(4), 170-177. doi:10.1016/j.tics.2004.02.010.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014a). Inhibition and the right inferior frontal cortex: one decade on. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(4), 177 - 185. doi: 10.1016/j.tics.2013.12.003.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014b). Right inferior frontal cortex: addressing the rebuttals. *Frontiers in Human Neurosciences*, *11*(8), 905. doi:10.3389/fnhum.2014.00905.
- Atmaca, M., Yildirim, H., Gurok, M. G., & Akyol, M. (2012). Orbito-frontal cortex volumes in panic disorder. *Psychiatry Investigation*, *9*(4), 408-412. doi:10.4306/pi.2012.9.4.408.
- Atmaca, M., Yildirim, H., Ozdemir, H., Tezcan, E., & Poyraz, A. K. (2007). Volumetric MRI study of key brain regions implicated in obsessive-compulsive disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, *31*(1), 46-52. doi:10.1016/j.pnpbp.2006.06.008.
- Bader, K. (2009). Emotionale Modulation von Impulsivität bei Patientinnen mit Borderline Persönlichkeitsstörung. *Dissertationsschrift, Technische Universität Dresden*, 12-14. Verfügbar unter http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/2755/Dissertation_Kerstin_Bader.pdf [26.04.2015].

- Barker, V., Romaniuk, L., Cardinal, R., Pope M., Nicol, K., & Hall, J. (2015). Impulsivity in borderline personality disorder. *Psychological Medicine Journal*, 20, 1-10. doi:10.1017/S0033291714003079.
- Barratt, C. S. (1985). Impulsiveness subtraits: Arousal and information processing. (I. Spence, Hrsg.) *Motivation, Emotion and Personality*, 137-146.
- Barrick, M. R., & Mount, M. K. (1991). The Big Five personality dimensions and job performance: A meta-analysis. *Personnel Psychology*, 44, 1-2.
- Batty, M. J.; Liddle, E. B.; Pitiot, A.; Toro, R.; J., Groom M.; Scerif, G.; Liotti, M.; Liddle, P. F.; Paus, T.; Hollis, C. (2010). Cortical gray matter in attention-deficit/hyperactivity disorder: a structural magnetic resonance imaging study. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(3), 229-238. doi: 10.1016/j.jaac.2009.11.008.
- Baumeister, R. F., & Heatherton, T. (1996). Self-regulation failure: an overview. *Psychological Inquiry*, 1-15. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/1449145> [27.04.2015].
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1252-1265. Verfügbar unter <https://www.psychologytoday.com/files/attachments/584/baumeisteretal1998.pdf> [27.04.2015].
- Baumeister, R. F., Muraven, M., & Tice, D. M. (2000). Ego depletion: A resource model of volition, self-regulation, and controlled processing. *Social Cognition*, 18, 130-150. doi: 10.1521/soco.2000.18.2.130.
- Bechera, A. (2005). Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: A neurocognitive perspective. *Nature Neuroscience*, 8, 1458–1463. doi:10.1038/nn1584.
- Beck, R. C., & Triplett, M. F. (2009). Test-retest reliability of a group-administered paper-pencil measure of delay discounting. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 17(5), 345-355. doi: 10.1037/a0017078.
- Berlin, H., Rolls, E., & Kischka, U. (2004). Impulsivity, time perception, emotion and reinforcement sensitivity in patients with orbitofrontal cortex lesions. *Brain*, 127(5), 1108-1126. doi:10.1093/brain/awh135.
- Bøen, E.; Westlye, L. T.; Elvsåshagen, T.; Hummelen, B.; Hol, P. K.; Boye, B.; Andersson, S.; Karterud, S.; Malt, U. F. (2014). Regional cortical thinning may be a biological marker for borderline personality disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 130(3), 193–204. doi: 10.1111/acps.12234.
- Boes, A. D., Bechera, A., Tranel, D., Anderson, S. W., Richman, L., & Nopoulos, P. (2009). Right ventromedial prefrontal cortex: a neuroanatomical correlate of impulse control in boys. *Social Cognitive And Affective Neuroscience*, 4(1), 1-9. doi: 10.1093/scan/nsn035.

- Bogg, T., & Roberts, B. W. (2004). Conscientiousness and health-related behaviors: a meta-analysis of the leading behavioral contributors to mortality. *Psychological Bulletin*, *130*(6), 887-919.
- Boisseau, C. L., Thompson-Brenner, H., Caldwell-Harris, C., Pratt, E., Farchione, T., & Barlow, D. (2012). Behavioral and cognitive impulsivity in obsessive-compulsive disorder and eating disorders. *Psychiatry Research*, *200*(2-3), 1062-1066. doi:10.1016/j.psychres.2012.06.010.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. *Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag*, *7*, 122-166.
- Broos, N.; Schmaal, L.; Wiskerke, J.; Kostelijk, L.; Lam, T.; Stoop, N.; Weierink, L.; Ham, J.; de Geus, E. J.; Schoffemeer, A. N.; van den Brink, W.; Veltman, D. J.; de Vries, T. J.; Pattij, T.; Goudriaan, A. E. (2012). The relationship between impulsive choice and impulsive action: a cross-species translational study. *PLoS One*, *7*(5), e36781. doi:10.1371/journal.pone.0036781.
- Bryden, D. W., & Roesch, M. R. (2015). Executive control signals in orbitofrontal cortex during response inhibition. *Journal of Neuroscience*, *35*(9), 3903-3914. doi:10.1523/JNEUROSCI.3587-14.2015.
- Burguière, E., Monteiro, P., Feng, G., & Graybiel, A. M. (2013). Optogenetic stimulation of lateral orbitofronto-striatal pathway suppresses compulsive behaviors. *Science*, *340*(6137), 1243-1246. doi: 10.1126/science.1232380.
- Buss, A., & Plonin, R. (1975). Temperament Theory of Personality Development. *London: Wiley-Interscience*.
- 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. Verfügbar unter: https://www.psy.miami.edu/media/college-of-arts-and-sciences/psychology/documents/faculty/publications/p94_BISBAS.pdf [28.04.2015].
- Chikazoe, J., Jimura, K., Hirose, S., Yamashita, K., Miyashita, Y., & Konishi, S. (2009). Preparation to inhibit a response complements response inhibition during performance of a stop-signal-task. *The Journal of Neuroscience*, *29*(50), 15870-15877. doi:10.1523/JNEUROSCI.3645-09.2009.
- Cho, S. S., Ko, J. H., Pellecchia, G., & Van Eimeren, T. (2010). Continuous theta burst stimulation of right dorsolateral prefrontal cortex induces changes in impulsivity level. *Brain Stimulation*, *3*(3), 170-176. doi: 10.1016/j.brs.2009.10.002.
- Cho, S. S., Pellecchia, G., Aminian, K., Ray, N., Segura, B., Obeso, I., & Strafella, A. P. (2013). Morphometric correlation of impulsivity in medial prefrontal cortex. *Brain Topography*, *26*(3), 479-487. doi: 10.1007/s10548-012-0270-x.

- Christensen, A., & Smith, T. (1995). Personality and patient adherence: correlates of the five-factor model in renal dialysis. *Journal of Behavioral Medicine*, *18*(3), 305-313. doi: 10.1007/BF01857875.
- Christoff, K., & Gabrielli, J. D. (2000). The frontopolar cortex and human cognition: Evidence for a rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex. *Psychobiology*, *28*(2), 168-186. doi: 10.3758/BF03331976.
- Cloninger, C., Przybeck, T. R., Svrakic D. M. (1994). The Temperament and Character Inventory (TCI): A guide to its development and use, 19-28, St. Louis, MO: center for psychobiology of personality, Washington University
- Cloninger, C., Przybeck, T., & D. M. Svrakic , D. (1991). The Tridimensional Personality Questionnaire: U.S. normative data. *Psychological Reports* *69*, 3(1), 1047–1057.
- Colzato, L., Hertsig, G., van den Wildenberg, W., & Hommel, B. (2010). Estrogen modulates inhibitory control in healthy human females: evidence from the stop-signal paradigm. *Neuroscience*, *167*(3), 709-715. doi: 10.1016/j.neuroscience.2010.02.029.
- Congdon, E., & Canli, T. (2008). A neurogenetic approach to impulsivity. *Journal of Personality*, *76*(6), 1447-1484. doi: 10.1111/j.1467-6494.2008.00528.x.
- Crews, F., & Boettinger, C. (2009). Impulsivity, frontal lobes and risk for addiction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *93*(3), 237-247. doi:10.1016/j.pbb.2009.04.018.
- Crosbie, J.; Arnold, P.; Paterson, A.; Swanson, J.; Dupuis, A.; Li, X.; Shan, J.; Goodale, T.; Tam, C.; Strug, L. J.; Schachar, R. J. (2013). Response Inhibition and ADHD Traits: Correlates and Heritability in a Community Sample. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *41*(3), 497–507. doi: 10.1007/s10802-012-9693-9.
- Cross, C., Copping, L., & Campbell, A. (2011). Sex differences in impulsivity: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *137*(1), 97-130. doi: 10.1037/a0021591.
- Crunelle, C. L., Veltman, D. J., van Emmerik-van Oortmerssen, K., Booij, J., & van den Brink, W. (2013). Impulsivity in adult ADHD patients with and without cocaine dependence. *Drug and Alcohol Dependence*, *129*(1-2), 18-24. doi:10.1016/j.drugalcdep.2012.09.006.
- Dannon, P. N., Shoenfeld, N., Rosenberg, O., Kertzman, S., & Kotler, M. (2010). Pathological gambling: an impulse control disorder? Measurement of impulsivity using neurocognitive tests. *Israel Medical Association Journal*, *12*(4), 243-248. Verfügbar unter www.ima.org.il/FilesUpload/IMAJ/0/46/23122.pdf [28.04.2015].
- Dawe, S., & Loxton, N. (2004). The role of impulsivity in the development of substance use and eating disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *28*(3), 343-351. doi:10.1016/j.neubiorev.2004.03.007.
- de Tribolet-Hardy, F., Vohs, K., Mokros, A., & Habermeyer, E. (2014). Psychopathy, intelligence, and impulsivity in German violent offenders. *International Journal of Law and Psychiatry*, 238-244. doi: 10.1016/j.ijlp.2013.11.018.

- DeCoster, J. (2015). Free Statistical Consulting Over the Internet. Verfügbar unter: <http://www.stat-help.com/>: <http://www.stat-help.com/> [14.05.2015]. Abgerufen am 9. 05.2015. Mai 2015 von <http://www.stat-help.com/>: <http://www.stat-help.com/>
- Desikan, R. S.; Segonne, F.; Fischl, B.; Quinn, B. T.; Dickerson, B. C.; Blacker, D.; Buckner, R. L.; Dale, A. (2006). An automated labeling system for subdividing the human cerebral cortex on MRI scans into gyral based regions of interest. *NeuroImage*, *31*(3), 968-980. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.01.021.
- Di Paola, M.; Di Iulio, F.; Cherubini, A.; Blundo, C.; Casini, A. R. ; Sancesario, G.; Passafiume, D.; Caltagirone, C. ; Spalletta, G. (2010). When, where, and how the corpus callosum changes in MCI and AD: a multimodal MRI study. *Neurology*, *74*(14), 1136-1142. doi: 10.1212/WNL.0b013e3181d7d8cb.
- Duckworth, A. L., & Kern, M. L. (2011). A Meta-Analysis of the Convergent Validity of Self-Control Measures. *Journal of Research in Personality*, *45*(3), 259-268. doi:10.1016/j.jrp.2011.02.004.
- Duncan, J., & Owen, A. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends of Neuroscience*, *23*(10), 475-483. doi: 10.1016/S0166-2236(00)01633-7.
- Eagle, D. M., Baunez, C., Hutcheson, D. M., Lehmann, O., Shah, A. P., & Robbins, T. W. (2008). Stop-signal-reaction-time task performance: role of prefrontal cortex and subthalamic nucleus. *Cerebral Cortex*, *18*(1), 178-188. doi: 10.1093/cercor/bhm044.
- Ellison, W. D., Rosenstein, L., Chelminski, K., Dalrymple, K., & Zimmerman, M. (2015). The clinical significance of single features of borderline personality disorder: anger, affective instability, Impulsivity, and chronic emptiness in psychiatric outpatients. *Journal of Personality Disorders*, *20*, 1-10. doi: 10.1521/pedi_2015_29_193.
- Ersche, K. D., Barnes, A., Jones, P. S., Morein-Zamir, S., Robbins, T. W., & Bullmore, E. T. (2011). Abnormal structure of frontostriatal brain systems is associated with aspects of impulsivity and compulsivity in cocaine dependence. *Brain*, *134*(7), 2013-2024. doi: 10.1093/brain/awr138.
- Esposito-Smythers, C., Spirito, A., Rizzo, C., McGeary, J., & Knopik, V. (2009). Associations of the DRD2 TaqIA polymorphism with impulsivity and substance use: preliminary results from a clinical sample of adolescents. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *93*(3), 306-312. doi: 10.1016/j.pbb.2009.03.012.
- Evenden, J. (1999). Varieties of impulsivity. *Psychopharmacology*, *146*(4), 348-361. doi: 10.1007/PL00005481.
- Eysenck, S., & Eysenck, H. (1977). The place of impulsiveness in a dimensional system of personality description. *British Journal of Social Psychology*, *16*(1), 57-68. doi: 10.1111/j.2044-8260.1977.tb01003.x.
- Faedda, G. L.; Serra, G.; Marangoni, C.; Salvatore, P.; Sani, G.; Vázquez, G. H.; Tondo, L.; Girardi, P.; Baldessari, R. J. (2014). Clinical risk factors for bipolar disorders: a

- systematic review of prospective studies. *Journal of Affective Disorders*, 168, 314-21. doi: 10.1016/j.jad.2014.07.013.
- Fernie, G., Cole, J., Goudie, A., & Field, M. (2010). Risk-taking but not response inhibition or delay discounting predict alcohol consumption in social drinkers. *Drug and Alcohol Dependence*, 112(1-2), 54-61. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2010.05.011.
- Fischl, B., & Dale, A. (2000). Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*, 97(20), 11050-11055. doi: 10.1073/pnas.200033797.
- Fletcher, P. C., & Henson, R. N. (2001). Frontal lobes and human memory: insights from functional imaging. *Brain*, 124(5), 849-881. doi: 10.1093/brain/124.5.849.
- Friese, M., & Hofmann, W. (2009). Control me or I will control you: Impulses, trait self-control, and the guidance of behavior. *Journal of Research in Personality*, 43(5), 795-805. doi: 10.1016/j.jrp.2009.07.004.
- Ganos, C., Kahl, U. B., & Haggard, P. M. (2014). The neural correlates of tic inhibition in Gilles de la Tourette syndrome. *Neuropsychologia*, 65, 297-301. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.08.007.
- Gardini, S., Cloninger, C., & Venneri, A. (2009). Individual differences in personality traits reflect structural variance in specific brain regions. *Brain Reserch Bulletin*, 265-70. doi: 10.1016/j.brainresbull.2009.03.005.
- Garrido, I., & Subirá, S. (2013). Decision-making and impulsivity in eating disorder patients. *Psychiatry Research*, 207(1-2), 107-112. doi:10.1016/j.psychres.2012.10.004.
- Gerlach, G., Herpetz, S., & Loeber, S. (2015). Personality traits and obesity: a systematic review. *Obesity Reviews*, 16(1), 32-63. doi: 10.1111/obr.12235.
- Giedd, J., Raznahan, A., Mills, K., & Lenroot, R. (2012). Review: magnetic resonance imaging of male/female differences in human adolescent brain anatomy. *Biology of Sex Differences*, 3(1), 19. doi: 10.1186/2042-6410-3-19.
- Goebel, S. (2007). Klinische und experimentelle Neuropsychologie der strategischen Fähigkeiten. *Dissertationsschrift, Halle, ULB Sachsen-Anhalt, Kapitel Vier: Anatomie und Funktionaliät des Frontalhirns*, 44-53. Verfügbar unter <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/07/07H313/prom.pdf> [26.04.2015].
- Goldman-Rakic, P. (1995). Cellular basis of working memory. *Neuron*, 14(3), 477-85. doi:10.1016/0896-6273(95)90304-6.
- Gronenschild, E. H., Habets, P., Jacobs, H. I., Mengelers, R., Rozendaal, N., van Os, J., & Marcelis, M. (2012). The effects of FreeSurfer version, workstation type, and Macintosh operating system version on anatomical volume and cortical thickness measurements. *PLoS One*, 7(6), e38234. doi: 10.1371/journal.pone.0038234.

- Han, X.; Jovicich, J.; Salat, D.; van der Kouwe, A.; Quinn, B.; Czanner, S.; Busa, E.; Pacheco, J.; Albert, M.; Kiliyany, R.; Maguire, P.; Rosas, D.; Makris, N.; Dale, A.; Dickerson, B.; Fischle; Fischl, B. (2006). Reliability of MRI-derived measurements of human cerebral cortical thickness: the effects of field strength, scanner upgrade and manufacturer. *Neuroimage*, 32(1), 180-194. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.02.051.
- Hayaki J., Stein M. D., Lassar J. A., Herman D. S., Anderson B. J. (2005). Adversity among drug users: relationship to impulsivity. *Drug and Alcohol Dependence*, 78(1), 65-71. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2004.09.002.
- Herpetz, S. C.; Werth, U.; Lukas, G.; Qunaibi, M.; Schuerkens, A.; Kunert, H. J.; Freese, R.; Flesch, M.; Mueller-Isberner, R.; Osterheider, M.; Sass, H. (2001). Emotion in criminal offenders with psychopathy and borderline personality disorder. *Archives of General Psychiatry*, 58(8), 737-745. doi:10.1001/archpsyc.58.8.737.
- Herpetz, S., & Saß, H. (1997). Zur Konzeptionalisierung von Impulsivität und Impulskontrolle. *Nervenarzt*, 68, 171-183. doi: 10.1007/s001150050112.
- Hesslinger, B., Tebartz van Elst, L., Thiel, T., Haegele, K., Henning, K., & Ebert, D. (2002). Frontoorbital volume reductions in adult patients with attention deficit hyperactivity disorder. *Neuroscience Letters*, 328(3), 319-321.
- Hofmann, W., & Friese, M. (2010). Zwei Seelen, ach, in meiner Brust. *Gehirn und Geist*, 11, 26-31. doi: 10.1026/0033-3042/a000086.
- Hofmann, W., Friese, M., & Strack, F. (2009). Impulse and self-control from a dual-systems perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 4(2), 162-176. doi:10.1111/j.1745-6924.2009.01116.x.
- Hofmann, W., Luhmann, M., Fisher, R., Vohs, K., & Baumeister, R. (2013). Yes, But Are They Happy? Effects of Trait Self-Control on Affective Well-Being and Life Satisfaction. *Journal of Personalized Medicine*, 82(4), 265-277. doi: 10.1111/jopy.12050.
- Hong, S. B.; Kim, J. W.; Choi, E. j.; Kim, H. H.; Suh, J. H.; Kim, C. D.; Klauser, P.; Whittle, S.; Yücel, M.; Pantelis, C.; Yi, S. H. (2013). Reduced orbitofrontal cortical thickness in male adolescents with internet addiction. *Behavioral and Brain Functions*, 9, 11. doi: 10.1186/1744-9081-9-11.
- Jakubczyk, A.; Klimkiewicz, A.; Wnorowska, A.; Mika, K.; Bugaj, M.; Podgórska, A.; Barry, K.; Blow, F. C.; Brower, K. J. ; Wojnar, M. (2013). Impulsivity, risky behaviors and accidents in alcohol-dependent patients. *Accident Analysis & Prevention*, 51, 150-155. doi 10.1016/j.aap.2012.11.013.
- Jansen, O., & Stephani, U. (2007). *Fehlbildungen und frühkindliche Schädigungen des ZNS*. (O. J. U. Stephani, Hrsg.) Thieme. S. 202. ISBN: 978-3-13-137591-9.
- Jasinska, A. (2013). Automatic inhibition and habitual control: alternative views in neuroscience research on response inhibition and inhibitory control. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 25. doi: 10.3389/fnbeh.2013.00025.

- Jentsch, J. D., Ashenhurst, J. R., Cervantes, M. C., Groman, S., James, A., & Pennigton, Z. (2014). Dissecting impulsivity and its relationships to drug addictions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1327, 1-26. doi: 10.1111/nyas.12388.
- Jones, S., Buchbinder, B., & Aharon, I. (2000). Three-dimensional mapping of cortical thickness using laplace's equation. *Human Brain Mapping*, 11(1), 12-32. doi: 10.1002/1097-0193(200009)11:1<12::AID-HBM20>3.0.CO;2-K.
- Kühn, S., Kaufmann, C., Simon, D., Endrass, T., & Gallinat, J. (2013). Reduced thickness of anterior cingulate cortex in obsessive-compulsive disorder. *Cortex*, 49(8), 2178-2185. doi: 10.1016/j.cortex.2012.09.001.
- Kang, D.-H.; Jo, H. J.; Jung, W. H.; Kim, W. H.; Yung, Y.-H.; Choi, C.-H.; Lee, U. S.; An, S. C.; Jang, J. H.; Kwon, J. S. (2013). The effect of meditation on brain structure: cortical thickness mapping and diffusion tensor imaging. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(1), 27–33. doi: 10.1093/scan/nss056.
- Kirby, K., & Petry, N. (2003). Heroin and cocaine abusers have higher discount rates for delayed rewards than alcoholics or non-drug-using controls. *Addiction*, 99(4), 461-471. doi:10.1111/j.1360-0443.2004.00669.x.
- Koch, G., Oliveri, M., & Torriero, S. (2003). Underestimation of time perception after repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neurology*, 60(11), 1844-1846. doi:10.1212/WNL.60.11.1844.
- Koch, G., Oliveri, M., Carlesimo, G., & Caltagirone, C. (2002). Selective deficit of time perception in a patient with right prefrontal cortex lesion. *Neurology*, 59(10), 1658-1659. doi: 10.1212/01.WNL.0000032504.45792.8F .
- Koechlin, E., Ody, C., & Kouneiher, F. (2003). The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex. *Science*, 302(5648), 1181-1185. doi: 10.1126/science.1088545.
- Krämer, U. M., Solbakk, A. K., Funderud, I., L. M., Endestad, T., & Knight, R. T. (2013). The role of the lateral prefrontal cortex in inhibitory motor control. *Cortex Cortex*, 49(3), 837-849. doi: 10.1016/j.cortex.2012.05.003.
- Kräplin, A., Bühringer, G., Ossterlaan, J., van den Brink, W., Goschke, T., & Goudriaan, A. (2014). Dimensions and disorder specificity of impulsivity in pathological gambling. *Addictive Behavior*, 39(11), 1646-1651. doi: 10.1016/j.addbeh.2014.05.021.
- Kuperberg, G. R.; Broome, M. R.; McGuire, P. K.; David, A. S.; Eddy, M.; Ozawa, F.; Goff, D.; West, W. C.; Williams, S. C.; van der Kouwe, A. J.; Salat, D. H.; Dale, A. M.; Fischl, B. (2003). Regionally localized thinning of the cerebral cortex in schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 60(9), 878 - 888. doi: 10.1001/archpsyc.60.9.878.
- Lee, H. W., Choi, J. S., Shin, Y. S., Lee, J. Y., Jung, H. Y., & Kwon, J. S. (2012). Impulsivity in internet addiction: a comparison with pathological gambling. *Cyberpsychologie, Behavior, and Social Network*, 15(7), 373-377. doi: 10.1089/cyber.2012.0063.

- Levy, B., & Wagner, A. (2011). Cognitive control and right ventrolateral prefrontal cortex: reflexive reorienting, motor inhibition, and action updating. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224, 40-60. doi: 10.1111/j.1749-6632.2011.05958.x.
- Lidaka, T.; Matsumoto, A.; Ozaki, N.; Suzuki, T.; Iwata, N.; Yamamoto, Y.; Okada, T.; Sadato, N. (2006). Volume of left amygdala subregion predicted temperamental trait of harm avoidance in female young subjects. A voxel-based morphometry study. *Brain Research*, 1125(1), 85-93. doi:10.1016/j.brainres.2006.09.015.
- Liebermann, M. D., Gaunt, R., Gilbert, D. T., & Trope, Y. (2002). Reflexion and reflection: A social cognitive neuroscience approach to attributional inference. *Advances in Experimental Social Psychology*, 34, 199-249. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085654.
- Lin, L., & Zhang, J. (2015). Impulsivity, mental disorder, and suicide in rural China. *Archives of Suicide Research*, Epub ahead of print. doi: 10.1080/13811118.2015.1004478.
- Lipszyc, J., & Schachar, R. (2010). Inhibitory control and psychopathology: a meta-analysis of studies using the stop signal task. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(6), 1064-1076. doi: 10.1017/S13556177110000895.
- Liu, T., Xiao, T., & Shi, J. (2013). Response inhibition, preattentive processing, and sex difference in young children: an event-related potential study. *Neuroreport*, 24(3), 126-130. doi: 10.1097/WNR.0b013e32835d846b.
- Logan, G. D., & Cowan, W. D. (1984). On the ability to inhibit thought and action - a theory of an act of control. *Psychological Review*, 91(3), 295-327. Verfügbar unter: <http://www.psy.vanderbilt.edu/faculty/logan/1984LoganPR.pdf> [2. Mai 2015].
- Lombardo, L., Bearden, C., Barrett, J., Brumbaugh, M., Pittman, B., Frangou, S., & Glahn, D. (2012). Trait impulsivity as an endophenotype for bipolar I disorder. *Bipolar Disorders*, 14(5), 565-570. doi: 10.1111/j.1399-5618.2012.01035.
- Lopez-Larson, M., Bogorodzki, P., Rogowska, J., McGlade, E., King, J., Terry, J., & Yurgelun-Todd, D. (2011). Altered prefrontal and insular cortical thickness in adolescent marijuana users. *Behavioral Brain Research*, 220(1), 164-72. doi: 10.1016/j.bbr.2011.02.001.
- Lyoo, I. K.; Sung, Y. H.; Dager, S. R.; Friedman, S. D.; Lee, J. Y.; Kim, S. J.; Kim, N.; Dunner, D. L.; Renshaw, P. F. (2006). Regional cerebral cortical thinning in bipolar disorder. *Bipolar Disorders*, 8(1), 65-74. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2006.00284.x.
- Martel, M. M., & Roberts, B. A. (2014). Prenatal testosterone increases sensitivity to prenatal stressors in males with disruptive behavior disorders. *Neurotoxicology and Teratology*, 44, 11-7. doi: 10.1016/j.ntt.2014.05.001.
- Matsuo, K., Nicoletti, M. A., Peluso, M. A., Hatch, J. P., Nemoto, K., & Watanabe, Y. (2009). Anterior cingulate volumes associated with trait impulsivity in individuals with bipolar disorder. *Bipolar Disorders*, 11(6), 628-636. doi: 10.1111/j.1399-5618.2009.00732.x.

- McClure, J., Podos, J., & Richardson, H. N. (2014). Isolating the delay component of impulsive choice in adolescent rats. *Frontiers in Integrative Neurosciences*, 8(3), 1-9. doi: 10.3389/fnint.2014.00003.
- Metcalf, J., & Mischel, W. (1999). A hot/cool-system analysis of delay of gratification: Dynamics of willpower. *Psychological Review*, 106(1), 3-19. doi: 10.1037/0033-295X.106.1.3 .
- Mischel, W., Ebbesen, E. B., & Zeiss, A. R. (1972). Cognitive and attentional mechanisms in delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 21(2), 204-218. doi: 10.1037/h0032198.
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. L. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933-938. doi: 10.1126/science.2658056.
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. L. (1992). Delay of gratification in children. In G. Loewenstein, & J. Elster, *Choice Over Time* (S. 147-164). Russell Sage Foundation. ISBN 978-0-87154-558-9.
- Mischel, W.; Ayduk, O.; Berman, M. G.; Casey, B. J.; Gotlib, I. H.; Jonides, J.; Kross, E.; Teslovich, T.; Wilson, N. L.; Zayas, V.; Shoda, Y. (2011). 'Willpower' over the life span: decomposing self-regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6(2), 252-256. doi: 10.1093/scan/nsq081.
- Moeller, F. G., Barratt, E. S., Dougherty, D. M., Schmitz, J. M., & Swann, A. C. (2001). Psychiatric aspects of impulsivity. *American Journal of Psychiatry*, 158, 1783–1793. doi: 10.1176/appi.ajp.158.11.1783.
- Moffitt, T. E.; Arseneault, L.; Belsky, D.; Dickson, N.; Hancox, R. J.; Harrington, H.; Houts, R.; Poulton, R.; Roberts, B. W.; Ross, S.; Sears, M. R.; Thomson, W. M.; Caspi, A. A. (2011). Gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 2693-2698. doi: 10.1073/pnas.1010076108.
- Mostofsky, S. H., Cooper, K. L., Kates, W. R., Denckla, M. B., & Kaufman, W. E. (2002). Smaller prefrontal and premotor volumes in boys with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 52(8), 785-794. doi:10.1016/S0006-3223(02)01412-9.
- Odlaug, B. L., Chamberlain, S. R., Derbyshire, K. L., Leppink, E. W., & Grant, J. E. (2014). Impaired response inhibition and excess cortical thickness as candidate endophenotypes for trichotillomania. *Journal of Psychiatric Research*, 59, 167-173. doi: 10.1016/j.jpsychires.2014.08.010.
- Oosterlaan, J., Logan, G. D., & Sergeant, J. A. (1998). Response inhibition in AD/HD, CD, comorbid AD/HD + CD, anxious, and control children: a meta-analysis of studies with the stop task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39(3), 411-25. doi: 10.1111/1469-7610.00336.
- Paloyelis, Y., Asherson, P., Mehta, M. A., Faraone, S. V., & Kuntsi, J. (2010). DAT1 and COMT effects on delay discounting and trait impulsivity in male adolescents with

attention deficit/hyperactivity disorder and healthy controls. *Neuropsychopharmacology*, 35(12), 2414-26. doi: 10.1038/npp.2010.124.

- Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768-774. doi: 10.1002/1097-4679(199511)51:6<768::AID-JCLP2270510607>3.0.CO;2-1.
- Perry, J. L., & Carroll, M. E. (2008). The role of impulsive behavior in drug abuse. *Psychopharmacology (Berl)*, 200(1), 1-26. doi: 10.1007/s00213-008-1173-0.
- Peters, J., & Büchel, C. (2009). Overlapping and distinct neural systems code for subjective value during Intertemporal and risky decision making. *The Journal of Neuroscience*, 29(50), 15727-15734, doi: 10.1523/jneurosci.3489-09.2009.
- Peters, J., & Büchel, C. (2010). Episodic future thinking reduces reward delay discounting through an enhancement of prefrontal-medioprefrontal interactions. *Neuron*, 66(1), 138-48. doi: 10.1016/j.neuron.2010.03.026.
- Petrides, M. (2005). Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society-Biological Sciences*, 360(1456), 781-795. doi:10.1098/rstb.2005.1631.
- Preuss, U. W.; Rujescu, D.; Giegling, I.; Koller, G.; Bottlender, M.; Engel, R. R.; Möller, H. J.; Soyka, M. (2003). Factor structure and validity of a german version of the barratt impulsiveness scale. *Fortschritte der Neurologie und Psychiatrie*, 71(10), 527-534. doi:10.1055/s-2003-42872.
- Rae, C. L., Hughes, L. E., Weaver, C., Anderson, M. C., & Rowe, J. B. (2014). Selection and stopping in voluntary action: a meta-analysis and combined fMRI study. *Neuroimage*, 86, 381-391, doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.10.012.
- Rao, S. M., Mayer, A. R., & Harrington, D. L. (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neuroscience*, 4(3), 317-323. doi:10.1038/85191.
- Reckless, G. E., Ousdal, O. T., Server, A., & Walter, H. A. (2014). The left inferior frontal gyrus is involved in adjusting response bias during a perceptual decision-making task. *Brain and Behavior*, 4(3), 398-407. doi: 10.1002/brb3.223.
- Reynolds, B., Ortengren, A., Richards, J. B., & de Wit, H. (2006). Dimensions of impulsive behavior: personality and behavioral measures. *Personality and Individual Differences*, 40(2), 305-315. doi:10.1016/j.paid.2005.03.024.
- Roberts, W., Peters, J., Adams, Z., Lynam, D., & Milich, R. (2014). Identifying the facets of impulsivity that explain the relation between ADHD symptoms and substance use in a nonclinical sample. *Addict Behav. Addictive Behaviors*, 39(8), 1272-7. doi: 10.1016/j.addbeh.2014.04.005mit.
- Rosas, H. O.; Liu, A. K.; Hersch, S.; Glessner, M.; Ferrante, R. J.; Salat, D. H.; van der Kouwe, A.; Jenkins, B. G.; Dale, A. M.; Fischl, B. (2002). Regional and progressive thinning of the cortical ribbon in Huntington's disease. Regional and progressive thinning of the

cortical ribbon in Huntington's disease. *Neurology*, 58(5), 695-701. doi:10.1212/WNL.58.5.695.

- Saß, H., Wittchen, H.-U., Zaudig, M., & Houben, I. (2004). Klassifikationssystem des Diagnostischen und Statistischen Handbuchs Psychischer Störungen-Textrevison und deutsche Bearbeitung. *Hogrefe-Verlag, ISBN-13: 978-3801716608, 4, 727-743.*
- Salat, D. H.; Buckner, R. L.; Snyder, A. Z.; Greve, D. N.; Desikan, R. S.; Busa, E.; Morris, J. C.; Dale, A. M.; Fischl, B. (2004). Thinning of the cerebral cortex in aging. *Cerebral Cortex*, 14(7), 721-30. doi:10.1093/cercor/bhh032.
- Sasayama, D.; Hayashida, A.; Yamasue, H.; Harada, Y.; Kaneko, T.; Kasai, K.; Washizuka, S.; Amano, N. (2010). Neuroanatomical correlates of attention-deficit-hyperactivity disorder accounting for comorbid oppositional defiant disorder and conduct disorder. *Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 64(4), 394-402. doi:10.1111/j.1440-1819.2010.02102.x.
- Saunders, B., Farag, N., Vincent, A. S., Collins, F. L., Sorocco, K. H., & Lovallo, W. R. (2008). Impulsive errors on a Go-NoGo reaction time Aufgabe: disinhibitory traits in relation to a family history of alcoholism. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 32(5), 888-94. doi:10.1111/j.1530-0277.2008.00648.x.
- Schachar, R., Mota, V. L., Logan, G. D., Tannock, R., & Klim, P. (2000). Confirmation of an inhibitory control deficit in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28(3), 227-35. doi:10.1023/A:1005140103162.
- Schiffer, B., Müller, B. W., Scherbaum, N., Forsting, M., Wiltfang, J., Leygraf, N., & Gizewski, E. R. (2010). Impulsivity-related brain volume deficits in schizophrenia- addiction comorbidity. *Brain*, 133(10), 3093-103. doi:10.1093/brain/awq153.
- Schilling, C.; Kühn, S.; Paus, T.; Romanowski, A.; Banaschewski, T.; Barbot, A.; Barker, G. J.; Brühl, R.; Büchel, C.; Conrod, P. J.; Dalley, J. W.; Flor, H.; Ittermann, B.; Ivanov, N.; Mann, K.; Martinot, J. L.; Nees, F.; Rietschel, M.; Robbins, T. W.; S. (2013a). Cortical thickness of superior frontal cortex predicts impulsiveness and perceptual reasoning in adolescence. *Molecular Psychiatry*, 18(5), 624-30. doi:10.1038/mp.2012.56.
- Schilling, C.; Kühn, S.; Romanowski, A.; Banaschewski, T.; Barbot, A.; Barker, G. J.; Brühl, R.; Büchel, C.; Charlet, K.; Conrod, P. J.; Czech, K.; Dalley, J. W.; Flor, H.; Häke, I.; Ittermann, B.; Ivanov, N.; Mann, K.; Lüdemann, K.; Martinot, J. L.; Pala. (2013b). Common structural correlates of trait impulsiveness and perceptual reasoning in adolescence. *Human Brain Mapping*, 34(2), 374-83. doi:10.1002/hbm.21446.
- Schilling, C.; Kühn, S.; Romanowski, A.; Schubert, F.; Kathmann, N.; Gallinat, J. (2012). Cortical thickness correlates with impulsiveness in healthy adults. *Neuroimage*, 59(1), 824-30. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.07.058.
- Seitz, J., Kahraman-Lanzerath, B., Legenbauer, T., Sarrar, L., Herpertz, S., Salbach-Andrae, H., Konrad, K., Herpertz-Dahlmann, B. (2013). The role of impulsivity, inattention and comorbid ADHD in patients with bulimia nervosa. *PLoS One*, 8(5), e63891. doi: 10.1371/journal.pone.0063891.

- Shaw, P.; Lerch, J.; Greenstein, D.; Sharp, W.; Clasen, L.; Evans, A.; Giedd, J.; Castellanos, F. X.; Rapoport, J. (2006). Longitudinal mapping of cortical thickness and clinical outcome in children and adolescents with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Archives of General Psychiatry*, 63(5), 540-549. doi:10.1001/archpsyc.63.5.540.
- Shiv, B., & Fedorikhin, A. (1999). Heart and mind in conflict: The interplay of affect and cognition in consumer decision making. *Journal of Consumer Research*, 26(2), 278-292. doi:10.1086/209563.
- Shoda, Y., Mischel, W., & Peake, P. K. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental Psychology*, 26, 978-986. doi:10.1037/0012-1649.26.6.978.
- Smith, C. L., & Hantula, D. A. (2008). Methodological considerations in the study of delay discounting in intertemporal choice: A comparison of tasks and modes. *Behavior Research Methods*, 40(4), 940-953. doi: 10.3758/BRM.40.4.940.
- Sowell, E. R.; Peterson, B. S.; Kan, E.; Woods, R. P.; Yoshii, J.; Bansal, R.; Xu, D.; Zhu, H.; Thompson, P. M.; Toga, A. W. (2007). Sex differences in cortical thickness mapped in 176 healthy individuals between 7 and 87 years of age. *Cerebral Cortex*, 17(7), 1550-1560. doi:10.1093/cercor/bhl066.
- Spinella, M., & Miley, W. M. (2003). Impulsivity and academic achievement in college students. *College Student Journal*, 37, 545-549. doi: 10.1080/0309877X.2010.484053.
- Spivey, J. M., Shumake, J., Colorado, R. A., Conejo-Jimenez, N., Gonzalez-Pardo, H., & Gonzalez-Lima, F. (2009). Adolescent female rats are more resistant than males to the effects of early stress on prefrontal cortex and impulsive behavior. *Developmental Psychobiology*, 51(3), 277-88. doi:10.1002/dev.20362.
- Stanford, M. S., Mathias, C. W., Dougherty, D. M., Lake, S. L., Anderson, N. E., & Patton, J. H. (2009). Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences*, 47(5), 385-395. doi:10.1016/j.paid.2009.04.008.
- Steinbeis, N., Bernhardt, B. C., & Singer, T. (2012). Impulse control and underlying functions of the left DLPFC mediate age-related and age-independent individual differences in strategic social behavior. *Neuron*, 73(5), 1040-1051. doi:10.1016/j.neuron.2011.12.027.
- Steiner, A. P., & Redish, A. D. (2012). The road not taken: neural correlates of decision making in orbitofrontal cortex. *Frontiers in Neuroscience*, 6(131), eCollection. doi:10.3389/fnins.2012.00131.
- Strack, F., & Deutsch, R. (2004). Reflective and impulsive determinants of social behavior. *Personality and Social Psychology Review*, 8, 220-247. doi:10.1207/s15327957pspr0803_1.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. doi:10.1037/h0054651.

- Swick, D., & Chatham, C. H. (2014). Ten years of inhibition revisited. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(329), eCollection. doi:10.3389/fnhum.2014.00329.
- Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2008). Left inferior frontal gyrus is critical for response inhibition. *BMC Neuroscience*, 21(9), 102. doi: 10.1186/1471-2202-9-102.
- Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2011). Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks. *Neuroimage*, 56(3), 1655–1665. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.02.070.
- Szczepanski, S. M., & Knight, R. T. (2014). Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. *Neuron*, 83(5), 1002-1018. doi:10.1016/j.neuron.2014.08.011.
- Thompson, P. M.; Moussai, J.; Zohoori, S.; Goldkorn, A.; Khan, A. A.; Mega, M. S.; Small, G. W.; Cummings, J. L.; Toga, A. W. (1998). Cortical variability and asymmetry in normal aging and alzheimer's disease. *Cerebral Cortex*, 8(6), 492–509. doi:10.1093/cercor/8.6.492.
- Tully, L. M., Lincoln, S. H., Liyanage-Don, N., & Hooker, C. I. (2014). Impaired cognitive control mediates the relationship between cortical thickness of the superior frontal gyrus and role functioning in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 152(2-3), 358-364. doi:10.1016/j.schres.2013.12.005.
- Van der Meer, L., Groenewold, N. A., A., N. W., Pijnenborg, M., & Aleman, A. (2011). Inhibit yourself and understand the other: neural basis of distinct processes underlying Theory of Mind. *Neuroimage*, 56(4), 2364-2374. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.03.053.
- Van Schuerbeek, P., Baeken, C., De Raedt, R., De Mey, J., & Luypaert, R. (2011). Individual differences in local gray and white matter volumes reflect differences in temperament and character: a voxel-based morphometry study in healthy young females. *Brain Research*, 1371, 32-42. doi:10.1016/j.brainres.2010.11.073.
- Van Veen, V., & Carter, C. S. (2005). Separating semantic conflict and response conflict in the Stroop Aufgabe: a functional MRI study. *Neuroimage*, 27(3), 497-504. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.04.042.
- Weafer, J., & de Wit, H. (2013). Sex differences in impulsive action and impulsive choice. *Addictive Behavior*, 39(11), 1573–1579. doi:10.1016/j.addbeh.2013.10.033.
- Weiland, B. J., Korycinski, S. T., Soules, M., Zubieta, J. K., Zucker, R. A., & Heitzeg, M. M. (2014). Substance abuse risk in emerging adults associated with smaller frontal gray matter volumes and higher externalizing behaviors. *Drug and Alcohol Dependence*, 137, 68–75. doi:10.1016/j.drugalcdep.2014.01.005.
- Weithorn, C. J., Kagen, E., & Marcus, M. (1984). The relationship of activity level ratings and cognitive impulsivity to task performance and academic achievement. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 25(4), 587-606. doi:10.1111/j.1469-7610.1984.tb00174.x.

- Wessa, M., Kollmann, B., Linke, J., Schönfelder, S., & Kanske, P. (2015). Increased impulsivity as a vulnerability marker for bipolar disorder: Evidence from self-report and experimental measures in two high-risk populations. *Journal of Affective Disorders, 178*, 18-24. doi: 10.1016/j.jad.2015.02.018.
- White, M. J., Morris, C. P., Lawford, B. R., & Young, R. M. (2008). Behavioral phenotypes of impulsivity related to the ANKK1 gene are independent of an acute stressor. *Behavioral and Brain Functions, 4*, 54. doi:10.1186/1744-9081-4-54.

Anhang

Protokollbogen - Sitzung 1

Versuchsleiter : Datum:

Beginn (Uhrzeit): Einverständniserklärung: ok

Befindlichkeit: ok

Generelle Bemerkungen:

.....

I Wechsler Intelligenztest - Arbeitsgedächtnis

1. Zahlen nachsprechen vorwärts: "Nun werde ich Dir einige Zahlen sagen. Höre bitte genau zu und wiederhole die Zahlen richtig, wenn ich fertig bin"

Aufg.	Versuch	Pkt	Pkt insges.
1.	1. Versuch	1 – 7	
	2. Versuch	6 – 3	
2.	1. Versuch	5 – 8 – 2	
	2. Versuch	6 – 9 – 4	
3.	1. Versuch	6 – 4 – 3 – 9	
	2. Versuch	7 – 2 – 8 – 6	
4.	1. Versuch	4 – 2 – 7 – 3 – 1	
	2. Versuch	7 – 5 – 8 – 3 – 6	
5.	1. Versuch	6 – 1 – 9 – 4 – 7 – 3	
	2. Versuch	3 – 9 – 2 – 4 – 8 – 7	
6.	1. Versuch	5 – 9 – 1 – 7 – 4 – 2 – 8	
	2. Versuch	4 – 1 – 7 – 9 – 3 – 8 – 6	
7.	1. Versuch	5 – 8 – 1 – 9 – 2 – 6 – 4 – 7	
	2. Versuch	3 – 8 – 2 – 9 – 5 – 1 – 7 – 4	
8.	1. Versuch	2 – 7 – 5 – 8 – 6 – 2 – 5 – 8 – 4	
	2. Versuch	7 – 1 – 3 – 9 – 4 – 2 – 5 – 6 – 8	
Rohwertsumme vorwärts (Maximum = 16)			

2. Zahlen nachsprechen rückwärts: "Nun werde ich Dir einige weitere Zahlen sagen. Aber jetzt möchte ich gerne, dass Du diese rückwärts wiederholst. Wenn ich zum Beispiel 7-1-9 sage, was würdest Du dann antworten?" („9-1-7“) „Das ist richtig“ („???“) „Nein, die richtige Antwort ist 9-1-7. Ich sagte 7-1-9. Du solltest diese Zahlen rückwärts wiederholen und müßtest daher 9-1-7 sagen. Versuch es noch einmal mit den folgenden Zahlen und denke daran, dass Du die Zahlen rückwärts wiederholen sollst. 3-4-8“ (dann in jedem Fall ohne weitere Hilfe weiter mit Aufgabe 1!)

Aufg.	Versuch		Pkt	Pkt insges.
1.	1. Versuch	2 - 4		
	2. Versuch	5 - 7		
2.	1. Versuch	6 - 2 - 9		
	2. Versuch	4 - 1 - 5		
3.	1. Versuch	3 - 2 - 7 - 9		
	2. Versuch	4 - 9 - 6 - 8		
4.	1. Versuch	1 - 5 - 2 - 8 - 6		
	2. Versuch	6 - 1 - 8 - 4 - 3		
5.	1. Versuch	5 - 3 - 9 - 4 - 1 - 8		
	2. Versuch	7 - 2 - 4 - 8 - 5 - 6		
6.	1. Versuch	8 - 1 - 2 - 9 - 3 - 6 - 5		
	2. Versuch	4 - 7 - 3 - 9 - 1 - 2 - 8		
7.	1. Versuch	9 - 4 - 3 - 7 - 6 - 2 - 5 - 8		
	2. Versuch	7 - 2 - 8 - 1 - 9 - 6 - 5 - 3		
Rohwertsumme rückwärts (Maximum = 14)				
			vorwärts	rückwärts
			gesamt	

II LPS

Rohwert: _____

Bemerkungen (Instruktionen gut verstanden? Besonderheiten?):

.....

III Anagramme

Dauer: _____

Bemerkungen (Warum aufgehört?):

.....
.....

IV Alertness am PC

Bemerkungen (Instruktionen gut verstanden? Besonderheiten?):

.....
.....

V Stroopstop am PC (Training und 1 Durchgang)

Bemerkungen (Instruktionen gut verstanden? Besonderheiten?):

.....
.....

VI Temporal Disocunting am PC

Bemerkungen (Instruktionen gut verstanden? Besonderheiten?):

.....
.....

VII Bistable Perception

Bemerkungen (Instruktionen gut verstanden? Besonderheiten?):

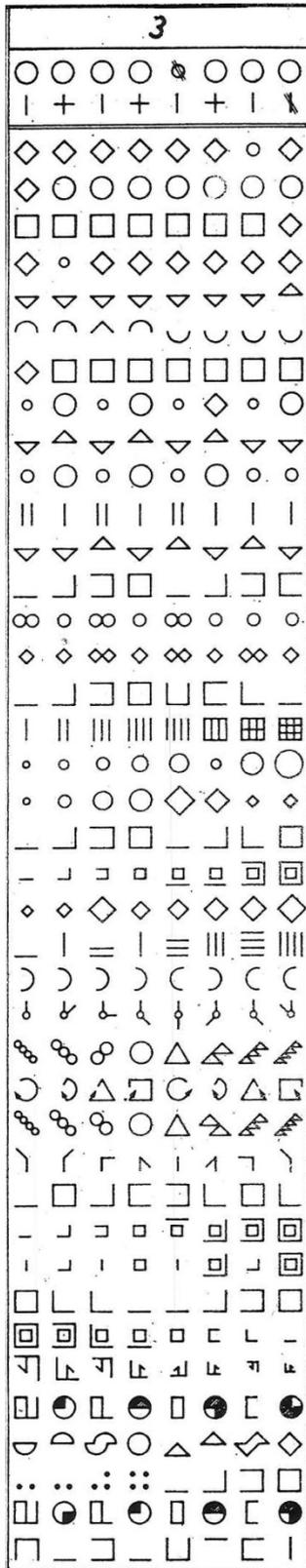
.....
.....

VIII Blutabnahme

Bemerkungen (Probleme?):

.....
.....

Ende (Uhrzeit):



LPS-Horn • Copyright by Verlag für Psychologie • Dr. C.J. Hogrefe, Göttingen

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
SSRT	0,094	77	0,090	0,953	77	0,006
BIS-Gesamt	0,072	102	0,200*	0,984	102	0,276
BIS-Attentional	0,110	102	0,004	0,982	102	0,171
BIS-Motor	0,104	102	0,009	0,976	102	0,063
BIS-Nonplanning	0,081	102	0,093	0,981	102	0,152
Temporal Discounting	0,337	102	0,000	0,422	102	0,000
TD rangtransformiert	0,088	102	0,052	0,948	102	0,001

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

Tabelle 8: Tests auf Normalverteilung der psychometrischen Skalen

rechts	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
cACC	0,049	102	0,200*	0,986	102	0,361
rACC	0,077	102	0,141	0,981	102	0,142
cMFG	0,064	102	0,200*	0,990	102	0,675
rMFG	0,057	102	0,200*	0,975	102	0,051
IOFC	0,040	102	0,200*	0,989	102	0,589
mOFC	0,057	102	0,200*	0,980	102	0,135
IFG-Pop	0,072	102	0,200*	0,984	102	0,276
IFG-Porb	0,057	102	0,200*	0,972	102	0,030
IFG-PT	0,046	102	0,200*	0,984	102	0,238
SFG	0,046	102	0,200*	0,990	102	0,677
FP	0,061	102	0,200*	0,990	102	0,651

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

Tabelle 9: Test auf Normalverteilung der rechten PFC-Areale

links	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
cACC	0,060	102	0,200*	0,990	102	0,659
rACC	0,081	102	0,097	0,983	102	0,219
cMFG	0,049	102	0,200*	0,995	102	0,958
rMFG	0,094	102	0,027	0,914	102	0,000
IOFC	0,051	102	0,200*	0,990	102	0,640
mOFC	0,066	102	0,200	0,984	102	0,252
IFG-Pop	0,054	102	0,200*	0,992	102	0,800
IFG-Porb	0,039	102	0,200*	0,991	102	0,742
IFG-PT	0,050	102	0,200*	0,983	102	0,224
SFG	0,046	102	0,200*	0,990	102	0,677
FP	0,061	102	0,200*	0,990	102	0,651

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

Tabelle 10: Test auf Normalverteilung der linken PFC-Areale

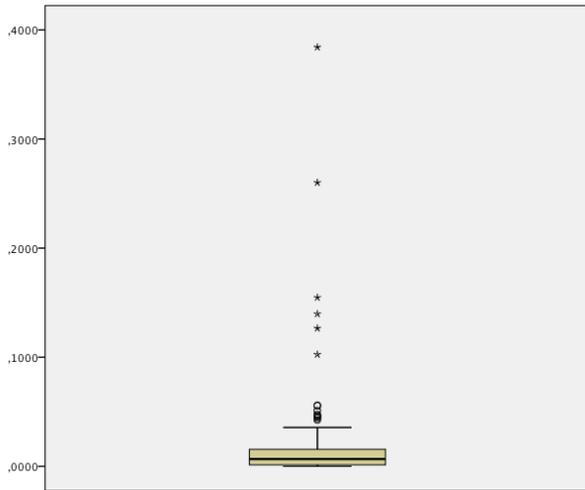


Abbildung 25: Boxplot TD

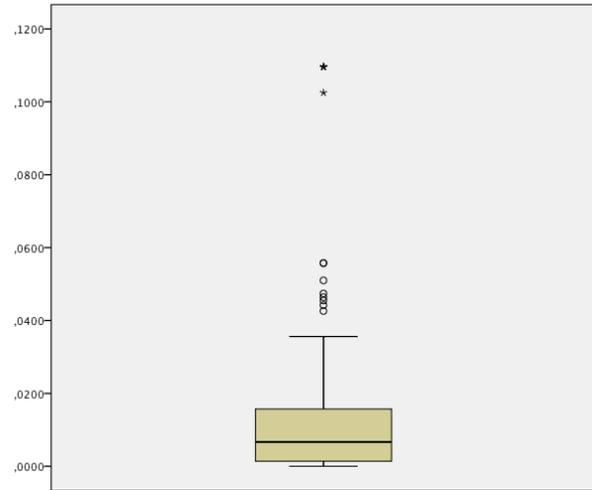


Abbildung 26: Boxplot TD ohne Ausreißer (> 2 Standardabweichungen)

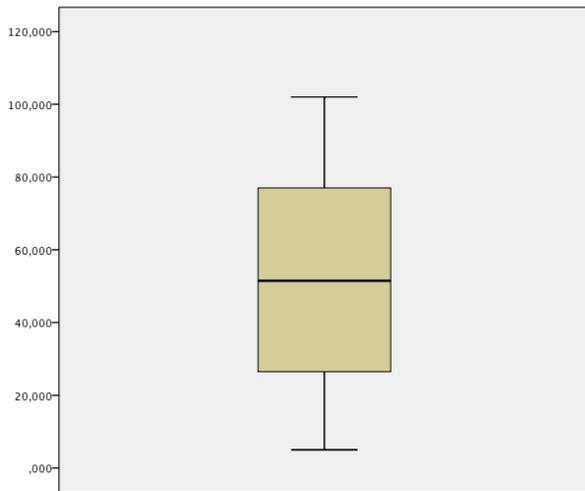


Abbildung 27: Boxplot der Rangwerte TD

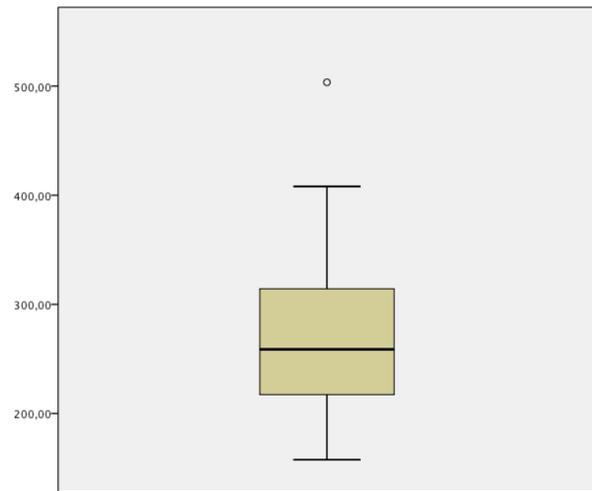


Abbildung 28: Boxplot SSRT

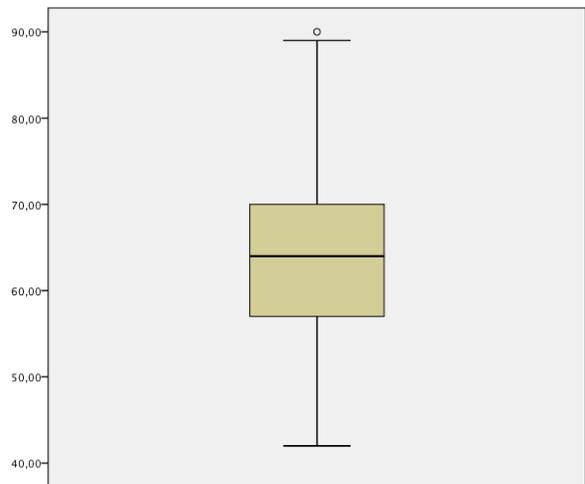


Abbildung 29: Boxplot BIS-Gesamt

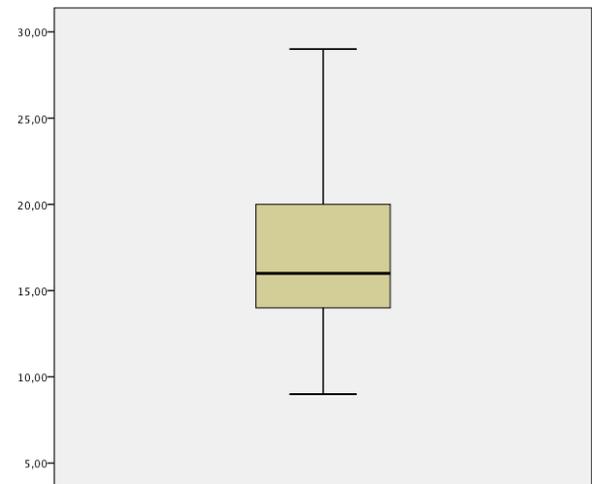


Abbildung 30: Boxplot BIS-Attentional

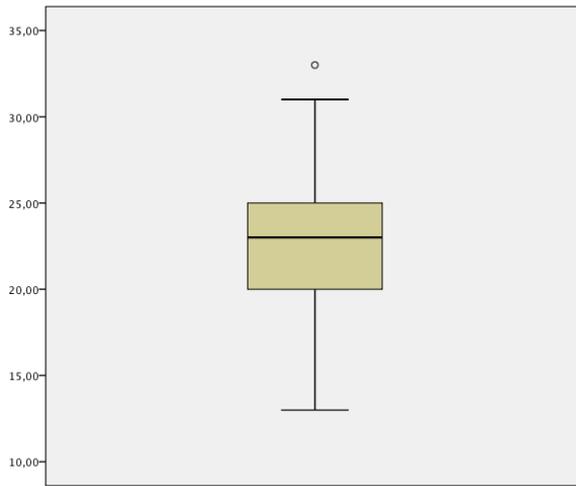


Abbildung 31: Boxplot BIS-Motor

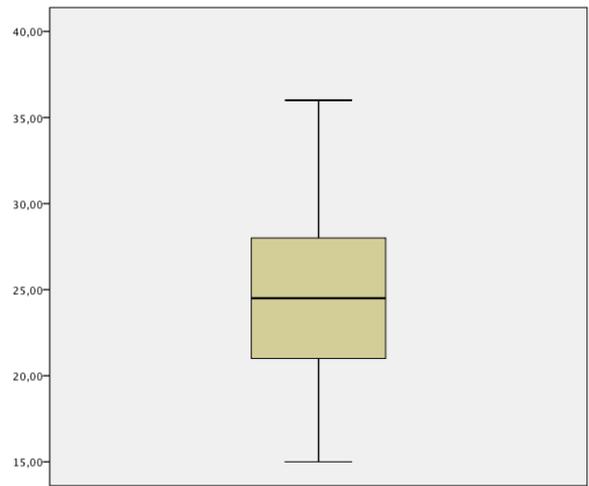


Abbildung 32: Boxplot BIS-Nonplanning

		Levene-Test der Varianzgleichheit		t-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
BIS-Gesamt	Varianzen sind gleich	0,537	0,465	-1,493	100	0,139	-3,033	2,031	-7,062	0,997
	Varianzen sind nicht gleich			-1,532	92,95	0,129	-3,033	1,980	-6,965	0,899
BIS-Attentional	Varianzen sind gleich	0,797	0,374	-0,227	100	0,821	-0,174	0,767	-1,695	1,347
	Varianzen sind nicht gleich			-0,235	95,69	0,814	-0,174	0,739	-1,640	1,292
BIS-Motor	Varianzen sind gleich	0,010	0,919	-2,776	100	0,007	-2,057	0,741	-3,528	-0,587
	Varianzen sind nicht gleich			-2,805	88,98	0,006	-2,057	0,733	-3,515	-0,600
BIS-Nonplanning	Varianzen sind gleich	0,000	0,987	-0,821	100	0,414	-0,802	0,976	-2,739	1,135
	Varianzen sind nicht gleich			-0,816	83,98	0,417	-0,802	0,983	-2,756	1,153
K-Temporal Discounting (Rangtransf.)	Varianzen sind gleich	2,118	0,149	-0,953	100	0,343	-5,689	5,972	-17,538	6,160
	Varianzen sind nicht gleich			-0,928	78,04	0,356	-5,689	6,130	-17,894	6,515
Stop signal reaction time	Varianzen sind gleich	0,182	0,671	-1,109	75	0,271	-17,313	15,614	-48,417	13,791
	Varianzen sind nicht gleich			-1,149	65,74	0,255	-17,313	15,074	-47,410	12,785

Tabelle 11: t-Test der psychometrischen Impulsivitäts-Variablen

Korrelationen (N = 77) korrigiert für Alter, Geschlecht (bei Gesamt) und Schlafstunden									
SSRT		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	-0,026	0,193	0,056	0,058	0,044	0,052	-0,899	-0,008
	Signifikanz (zweiseitig)	0,862	0,334	0,710	0,773	0,711	0,658	0,369	0,994
rACC	Korrelation	-0,197	0,195	-0,166	-0,114	-0,050	-0,141	-1,612	-0,215
	Signifikanz (zweiseitig)	0,189	0,330	0,270	0,571	0,670	0,230	0,107	0,830
cMFG	Korrelation	-0,245	0,025	0,006	0,093	-0,167	0,036	-1,117	-0,354
	Signifikanz (zweiseitig)	0,101	0,900	0,970	0,646	0,155	0,760	0,264	0,723
rMFG	Korrelation	0,050	-0,032	0,132	0,128	0,024	0,127	0,333	0,017
	Signifikanz (zweiseitig)	0,740	0,873	0,383	0,524	0,842	0,280	0,739	0,987
IOFC	Korrelation	-0,291	0,073	-0,194	0,192	-0,164	-0,048	-1,513	-1,587
	Signifikanz (zweiseitig)	0,049	0,717	0,197	0,336	0,163	0,687	0,130	0,113
mOFC	Korrelation	-0,213	0,287	-0,152	0,245	-0,041	-0,019	-2,077	-1,637
	Signifikanz (zweiseitig)	0,156	0,146	0,314	0,219	0,727	0,871	0,038	0,102
IFG-Pop	Korrelation	-0,221	-0,200	-0,156	0,187	-0,206	-0,038	-0,089	-1,407
	Signifikanz (zweiseitig)	0,140	0,318	0,301	0,351	0,078	0,746	0,929	0,160
IFG-Porb	Korrelation	0,095	0,266	0,136	-0,095	0,149	0,067	-0,720	0,942
	Signifikanz (zweiseitig)	0,532	0,180	0,367	0,637	0,204	0,572	0,472	0,346
IFG-PT	Korrelation	0,197	-0,028	0,059	0,113	0,119	0,073	0,924	-0,221
	Signifikanz (zweiseitig)	0,189	0,890	0,696	0,574	0,314	0,539	0,356	0,825
SFG	Korrelation	0,169	-0,082	0,087	0,084	0,084	0,098	1,026	0,012
	Signifikanz (zweiseitig)	0,262	0,686	0,566	0,475	0,475	0,407	0,305	0,990
FP	Korrelation	-0,095	-0,172	0,107	-0,119	-0,119	0,129	0,318	0,921
	Signifikanz (zweiseitig)	0,531	0,391	0,479	0,313	0,313	0,273	0,750	0,357

Tabelle 12: Partielle Korrelationen SSRT

Korrelationen (N = 102) korrigiert für Alter und Geschlecht (bei Gesamt)									
BIS-Gesamt		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	-0,110	0,113	0,001	-0,176	-0,028	-0,064	-1,073	0,857
	Signifikanz (zweiseitig)	0,404	0,488	0,996	0,278	0,779	0,524	0,283	0,392
rACC	Korrelation	-0,181	0,181	0,166	0,106	-0,036	0,126	-1,754	0,293
	Signifikanz (zweiseitig)	0,166	0,265	0,205	0,517	0,725	0,211	0,080	0,770
cMFG	Korrelation	0,173	-0,009	0,259	0,033	0,107	0,173	0,881	1,112
	Signifikanz (zweiseitig)	0,185	0,957	0,045	0,840	0,288	0,086	0,379	0,266
rMFG	Korrelation	-0,060	-0,100	-0,108	0,031	-0,074	-0,055	0,193	-0,668
	Signifikanz (zweiseitig)	0,647	0,538	0,412	0,850	0,463	0,586	0,847	0,504
IOFC	Korrelation	0,125	-0,011	0,047	-0,104	0,064	-0,021	0,655	0,726
	Signifikanz (zweiseitig)	0,342	0,948	0,723	0,524	0,529	0,832	0,513	0,468
mOFC	Korrelation	-0,041	0,202	0,040	-0,128	0,045	-0,032	-1,178	0,809
	Signifikanz (zweiseitig)	0,753	0,210	0,762	0,432	0,656	0,750	0,239	0,419
IFG-Pop	Korrelation	0,027	0,029	0,171	0,175	0,023	0,167	-0,010	-0,020
	Signifikanz (zweiseitig)	0,836	0,860	0,192	0,281	0,818	0,097	0,992	0,984
IFG-Porb	Korrelation	-0,062	-0,065	-0,031	-0,052	-0,064	-0,051	0,014	0,101
	Signifikanz (zweiseitig)	0,637	0,692	0,812	0,752	0,525	0,612	0,989	0,920
IFG-PT	Korrelation	-0,027	-0,073	0,059	0,204	-0,041	0,109	0,221	-0,708
	Signifikanz (zweiseitig)	0,838	0,656	0,653	0,207	0,686	0,280	0,825	0,479
SFG	Korrelation	0,071	-0,063	0,019	-0,003	0,013	0,005	0,643	0,105
	Signifikanz (zweiseitig)	0,590	0,698	0,885	0,984	0,895	0,962	0,520	0,916
FP	Korrelation	-0,199	-0,020	-0,092	0,055	-0,127	-0,042	-0,871	-0,706
	Signifikanz (zweiseitig)	0,127	0,903	0,485	0,738	0,208	0,676	0,384	0,480

Tabelle 13: Partielle Korrelationen BIS-Gesamt

Korrelationen (N = 102) korrigiert für Alter und Geschlecht (bei Gesamt)									
BIS-Attentional		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	-0,108	-0,078	-0,090	-0,370	-0,103	-0,191	-0,145	1,429
	Signifikanz (zweiseitig)	0,413	0,634	0,493	0,019	0,309	0,057	0,885	0,153
rACC	Korrelation	-0,201	0,133	0,069	0,098	-0,082	0,055	-1,617	-0,140
	Signifikanz (zweiseitig)	0,124	0,412	0,599	0,549	0,415	0,590	0,106	0,889
cMFG	Korrelation	0,035	0,034	0,233	0,113	0,030	0,189	0,005	0,594
	Signifikanz (zweiseitig)	0,792	0,835	0,073	0,487	0,765	0,059	0,996	0,553
rMFG	Korrelation	-0,044	0,019	-0,090	0,059	-0,024	-0,039	-0,302	-0,715
	Signifikanz (zweiseitig)	0,739	0,908	0,494	0,716	0,811	0,698	0,763	0,474
IOFC	Korrelation	0,098	-0,018	0,096	-0,025	0,037	0,032	0,557	0,581
	Signifikanz (zweiseitig)	0,456	0,913	0,466	0,880	0,716	0,749	0,577	0,561
mOFC	Korrelation	-0,141	0,080	0,083	-0,194	-0,073	-0,037	-1,064	1,340
	Signifikanz (zweiseitig)	0,283	0,625	0,529	0,229	0,473	0,712	0,287	0,180
IFG-Pop	Korrelation	-0,104	0,135	0,082	0,117	-0,017	0,083	-1,151	-0,169
	Signifikanz (zweiseitig)	0,430	0,407	0,535	0,472	0,869	0,413	0,250	0,866
IFG-Porb	Korrelation	-0,042	0,075	0,050	0,013	-0,005	0,006	-0,561	0,178
	Signifikanz (zweiseitig)	0,749	0,646	0,703	0,936	0,957	0,951	0,575	0,859
IFG-PT	Korrelation	-0,066	-0,065	0,071	0,252	-0,057	0,127	-0,005	-0,893
	Signifikanz (zweiseitig)	0,618	0,691	0,592	0,116	0,575	0,206	0,996	0,372
SFG	Korrelation	-0,064	-0,027	-0,027	0,020	-0,067	-0,022	-0,178	-0,225
	Signifikanz (zweiseitig)	0,626	0,868	0,836	0,900	0,506	0,831	0,859	0,822
FP	Korrelation	-0,095	-0,033	-0,191	-0,005	-0,083	-0,126	-0,298	-0,903
	Signifikanz (zweiseitig)	0,469	0,839	0,144	0,975	0,410	0,212	0,765	0,367

Tabelle 14: Partielle Korrelationen BIS-Attentional

Korrelationen (N=102) Korrigiert für Alter und Geschlecht (bei Gesamt)									
BIS-Nonplanning		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	-0,170	0,210	-0,051	0,062	-0,014	-0,014	-1,844	-0,542
	Signifikanz (zweiseitig)	0,193	0,193	0,699	0,705	0,888	0,889	0,065	0,588
rACC	Korrelation	-0,148	0,168	0,180	0,180	-0,009	0,167	-1,527	0,000
	Signifikanz (zweiseitig)	0,260	0,301	0,169	0,266	0,926	0,097	0,127	1,000
cMFG	Korrelation	0,181	-0,027	0,206	-0,022	0,098	0,111	1,006	1,107
	Signifikanz (zweiseitig)	0,166	0,870	0,114	0,893	0,331	0,274	0,314	0,268
rMFG	Korrelation	-0,088	-0,076	-0,178	0,035	-0,083	-0,087	-0,058	-1,030
	Signifikanz (zweiseitig)	0,504	0,642	0,175	0,829	0,410	0,391	0,954	0,303
IOFC	Korrelation	0,116	-0,025	0,071	-0,064	0,048	0,004	0,678	0,648
	Signifikanz (zweiseitig)	0,378	0,879	0,591	0,693	0,633	0,972	0,498	0,517
mOFC	Korrelation	-0,005	0,272	0,014	0,002	0,105	0,000	-1,361	0,058
	Signifikanz (zweiseitig)	0,967	0,089	0,913	0,989	0,298	0,997	0,174	0,954
IFG-Pop	Korrelation	0,065	-0,035	0,151	0,221	0,015	0,174	0,480	-0,348
	Signifikanz (zweiseitig)	0,620	0,833	0,248	0,170	0,878	0,083	0,632	0,728
IFG-Porb	Korrelation	-0,090	-0,093	-0,071	-0,107	-0,092	-0,095	0,015	0,174
	Signifikanz (zweiseitig)	0,495	0,570	0,590	0,511	0,363	0,346	0,988	0,862
IFG-PT	Korrelation	-0,067	-0,066	0,055	0,156	-0,063	0,093	-0,005	-0,490
	Signifikanz (zweiseitig)	0,612	0,686	0,676	0,336	0,533	0,356	0,996	0,624
SFG	Korrelation	0,072	-0,007	-0,002	0,003	0,033	-0,005	0,379	-0,024
	Signifikanz (zweiseitig)	0,582	0,967	0,987	0,986	0,748	0,959	0,705	0,981
FP	Korrelation	-0,218	-0,021	-0,055	0,082	-0,131	-0,004	-0,961	-0,658
	Signifikanz (zweiseitig)	0,095	0,900	0,676	0,614	0,196	0,969	0,337	0,511

Tabelle 15: Partielle Korrelationen BIS-Nonplanning

Korrelationen (N=102) Korrigiert für Alter und Geschlecht (bei Gesamt)									
BIS-Motor		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	0,024	0,077	0,163	-0,200	0,047	0,040	-0,255	1,759
	Signifikanz (zweiseitig)	0,854	0,636	0,213	0,216	0,639	0,692	0,799	0,079
rACC	Korrelation	-0,104	0,115	0,162	-0,067	0,000	0,069	-1,054	1,105
	Signifikanz (zweiseitig)	0,429	0,482	0,217	0,682	0,999	0,494	0,292	0,269
cMFG	Korrelation	0,218	-0,018	0,214	0,010	0,133	0,131	1,148	0,994
	Signifikanz (zweiseitig)	0,094	0,912	0,101	0,949	0,187	0,195	0,251	0,320
rMFG	Korrelation	-0,010	-0,177	0,020	-0,024	-0,068	0,004	0,809	0,211
	Signifikanz (zweiseitig)	0,938	0,276	0,882	0,882	0,498	0,968	0,418	0,833
IOFC	Korrelation	0,097	0,024	-0,062	-0,160	0,073	-0,097	0,351	0,476
	Signifikanz (zweiseitig)	0,461	0,885	0,640	0,324	0,473	0,336	0,725	0,634
mOFC	Korrelation	0,042	0,077	0,004	-0,157	0,060	-0,050	-0,168	0,778
	Signifikanz (zweiseitig)	0,748	0,638	0,974	0,334	0,551	0,618	0,866	0,437
IFG-Pop	Korrelation	0,105	-0,003	0,198	0,039	0,061	0,141	0,519	0,774
	Signifikanz (zweiseitig)	0,423	0,984	0,130	0,810	0,548	0,161	0,604	0,439
IFG-Porb	Korrelation	-0,015	-0,112	-0,052	0,002	-0,049	-0,021	0,467	-0,259
	Signifikanz (zweiseitig)	0,910	0,493	0,694	0,993	0,626	0,832	0,641	0,767
IFG-PT	Korrelation	0,080	-0,038	0,020	0,080	0,030	0,043	0,566	-0,288
	Signifikanz (zweiseitig)	0,545	0,817	0,879	0,625	0,767	0,667	0,571	0,773
SFG	Korrelation	0,176	-0,132	0,085	-0,032	0,064	0,043	1,488	0,562
	Signifikanz (zweiseitig)	0,180	0,416	0,517	0,845	0,530	0,673	0,137	0,574
FP	Korrelation	-0,179	0,008	0,018	0,034	-0,089	0,020	-0,905	-0,077
	Signifikanz (zweiseitig)	0,170	0,961	0,891	0,837	0,378	0,845	0,365	0,939

Tabelle 16: Partielle Korrelationen BIS-Motor

Korrelationen (N=102) Korrigiert für Alter und Geschlecht (bei Gesamt)									
Temporal Discounting		Frauen links	Männer links	Frauen rechts	Männer rechts	Gesamt links	Gesamt rechts	Z-Wert links	Z-Wert rechts
cACC	Korrelation	0,023	0,046	0,000	0,009	0,035	0,007	-0,110	-0,043
	Signifikanz (zweiseitig)	0,859	0,780	0,999	0,954	0,727	0,944	0,912	0,966
rACC	Korrelation	0,015	-0,092	-0,040	-0,218	-0,031	-0,118	0,514	0,870
	Signifikanz (zweiseitig)	0,912	0,572	0,760	0,177	0,756	0,242	0,607	0,384
cMFG	Korrelation	-0,016	-0,284	-0,079	-0,228	-0,125	-0,147	1,323	0,733
	Signifikanz (zweiseitig)	0,901	0,076	0,547	0,156	0,214	0,143	0,186	0,464
rMFG	Korrelation	0,031	-0,408	-0,077	-0,275	-0,144	-0,167	2,224	0,983
	Signifikanz (zweiseitig)	0,816	0,009	0,558	0,086	0,153	0,096	0,026	0,326
IOFC	Korrelation	0,049	-0,129	-0,076	-0,228	-0,027	-0,143	0,857	0,747
	Signifikanz (zweiseitig)	0,710	0,426	0,565	0,158	0,792	0,155	0,392	0,455
mOFC	Korrelation	-0,060	-0,275	-0,054	-0,208	-0,152	-0,114	1,065	0,752
	Signifikanz (zweiseitig)	0,646	0,086	0,682	0,198	0,132	0,258	0,287	0,452
IFG-Pop	Korrelation	0,123	-0,306	-0,076	-0,199	-0,082	-0,125	2,107	0,602
	Signifikanz (zweiseitig)	0,348	0,055	0,561	0,218	0,418	0,216	0,035	0,548
IFG-Porb	Korrelation	0,013	-0,338	0,004	-0,253	-0,133	-0,090	1,748	1,258
	Signifikanz (zweiseitig)	0,924	0,033	0,976	0,116	0,189	0,375	0,080	0,208
IFG-PT	Korrelation	0,084	-0,328	-0,043	-0,255	-0,104	-0,131	2,035	1,043
	Signifikanz (zweiseitig)	0,522	0,039	0,743	0,112	0,303	0,195	0,042	0,297
SFG	Korrelation	-0,077	-0,416	-0,051	-0,371	-0,216	-0,190	1,752	1,622
	Signifikanz (zweiseitig)	0,560	0,008	0,698	0,019	0,031	0,058	0,080	0,105
FP	Korrelation	-0,066	-0,011	-0,170	0,011	-0,034	-0,103	-0,264	-0,875
	Signifikanz (zweiseitig)	0,615	0,946	0,194	0,944	0,736	0,307	0,792	0,381

Tabelle 17: Partielle Korrelationen Temporal Discounting

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Privatdozentin Dr. Christine Stelzel, die als meine Betreuerin die Promotion von Beginn an mit großem Engagement begleitete und mir jederzeit mit wertvollen Hinweisen und guten Ratschlägen motivierend zur Seite stand.

Ich danke auch meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Henrik Walter sehr für die freundliche Überlassung meines Promotionsthemas und die kompetente Supervision der Arbeit.

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines großen Forschungsprojektes innerhalb der Arbeitsgruppe Volition des Instituts für Mind and Brain. Die Arbeit innerhalb der Gruppe war von großer Freundlichkeit, Hilfsbereitschaft und Flexibilität geprägt. Das erleichterte meine Arbeit sehr und ich danke dafür allen Beteiligten, insbesondere Privatdozentin Dr. Christine Stelzel, Dr. Rosa Steimke, Lena Paschke, Ima Trempler, Dr. Robert Gaschler, Dr. Vera Ludwig, Dr. Denise Dörfel und Dr. Corinde Wiers, sowie natürlich besonders Prof. Dr. Dr. Henrik Walter, der die Studie leitete.

Ein besonderer Dank geht an Dr. Michael Scheel, der mir als Neuroradiologe mit sehr viel Engagement und Hilfsbereitschaft zur Seite stand, als es darum ging, an die nötigen Computerkapazitäten für die Berechnung der MRT-Datensätze zu gelangen.

Ich danke Getrud und Katrin Dirks ganz herzlich für ihr so motiviertes und wertvolles Korrekturlesen!

Von ganzem Herzen danke ich auch meinem Mann, Jan Bretschneider, für seine geduldige Hilfe bei Computerproblemen aller Art, insbesondere aber für seinen immerhin jahrelang währenden Optimismus bezüglich dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern. Ihre liebevolle Hilfsbereitschaft und Unterstützung in allen Lebenslagen, ganz besonders aber bei der Betreuung meiner Kinder, haben mir mein Studium und diese Arbeit unglaublich erleichtert!

Ohne die Hilfe und Unterstützung all dieser Menschen wäre diese Arbeit sicher nicht so entstanden. Danke!

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Hélène Bretschneider, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema „Zusammenhang zwischen präfrontaler corticaler Dicke und der Ausprägung distinkter Impulsivitätsfaktoren“ selbstständig und ohne nicht offen-gelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§ 156 und 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

Berlin, den 09.09.2016