

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

Dissertation

Kognitive und neuronale Korrelate von Videospieldkonsum

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Kim – John Schlüter
aus Berlin

Datum der Promotion: 05.06.2016

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abstrakt..... | 4 |
| I.Einleitung..... | 8 |
| I.1.Videospiele in unserer heutigen Gesellschaft..... | 8 |
| I.2.Videospiele und Kognition..... | 9 |
| I.3.Der präfrontale Kortex und neuronale Plastizität..... | 12 |
| I.4.Der Einfluss von Emotionen auf Kognition und Hirnfunktion..... | 14 |
| I.5.Videospiele als therapeutische Option..... | 16 |
| I.6.Abgeleitete Arbeitshypothesen..... | 20 |
| II.Material und Methodik..... | 22 |
| II.1.Probanden..... | 22 |
| II.1.1.Probandenrekrutierung..... | 22 |
| II.1.2.Beschreibung des Probandenkollektivs..... | 23 |
| II.2.Nintendo DS und Super Mario 64..... | 23 |
| II.2.1.Charakterisierung der erforderlichen kognitiven Fähigkeiten..... | 25 |
| II.3.Untersuchungsablauf..... | 26 |
| II.4.Wöchentliche Fragebögen..... | 27 |
| II.5.Funktionelle Magnetresonanztomographie..... | 27 |
| II.5.1.Physikalische Grundlagen..... | 27 |
| II.5.2.Funktionelle Bildgebung..... | 29 |
| II.5.3.MRT-Scan Prozedur..... | 30 |
| II.5.4.Datenanalyse..... | 30 |
| II.5.5.Statistische Analyse..... | 31 |
| II.6.Kognitive Testbatterie..... | 32 |
| II.6.1.Go/NoGo – 2 aus 5..... | 33 |
| II.6.2.Flexibilität..... | 34 |
| II.6.3.Geteilte Aufmerksamkeit..... | 34 |
| II.6.4.Inkompatibilität..... | 34 |
| II.7.Statistische Auswertung..... | 35 |
| III.Ergebnisse:..... | 36 |

| | |
|--|-----------|
| III.1.1.Hypothese Ia..... | 36 |
| III.2.Hypothese Ib..... | 38 |
| III.3.Hypothese II..... | 39 |
| III.4.Hypothese III..... | 41 |
| IV.Diskussion:..... | 46 |
| IV.1.Hypothese I: Veränderung der Hirnaktivität in Gebieten des präfrontalen Kortex und Korrelation mit der Spielleistung..... | 46 |
| IV.1.1.Funktion und Anatomie des Brodmannareals 10..... | 46 |
| IV.1.2.Hypothese Ia und Ib..... | 48 |
| IV.2.Hypothese II: Korrelation der BA10-Aktivitätsveränderung mit dem Spielspaß..... | 50 |
| IV.2.1.Hypothese III: Leistungsverbesserung der kognitiven Fähigkeiten..... | 53 |
| IV.3.Limitierungen der Studie..... | 60 |
| IV.4.Ausblick..... | 61 |
| V.Zusammenfassung..... | 63 |
| VI.Literaturverzeichnis..... | 66 |
| VII.Eidesstattliche Versicherung..... | 79 |
| VIII.Lebenslauf..... | 80 |
| IX.Danksagung..... | 81 |

Abstrakt

Hintergrund: In den letzten Dekaden wurden Videospiele zu einer populären Freizeitbeschäftigung in allen Alters- und Gesellschaftsschichten. Eindeutige wissenschaftliche Schlussfolgerungen bezüglich des potentiellen Schadens und besonders des Nutzens fehlen jedoch bisher. Aktuelle Studien deuten allerdings auf eine Verbesserung von bestimmten kognitiven Fähigkeiten von Spielern hin, die das Resultat der kontinuierlichen hohen geistigen Anforderungen von modernen Videospiele sein sollen. Der eindeutige Beweis der Verbesserung kognitiver Fähigkeiten durch Videospielekonsum könnte in Zukunft zur Anwendung im rehabilitativ-klinischen Bereich von neurodegenerativen und anderen Hirnerkrankungen führen. Insbesondere der präfrontale Kortex ist das neuronale Korrelat von kognitiven Prozessen.

In der vorliegenden Studie soll der von vorherigen Studien postulierte positive Einfluss von Videospielekonsum auf die kognitive Leistungsfähigkeit und Veränderungen der präfrontalen Hirnaktivität untersucht werden.

Methodik: Die präfrontalen Hirnaktivitäten von 50 gesunden Probanden mit bisher sehr geringem Kontakt zu Videospiele wurden mittels fMRT-Untersuchungen gemessen. Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde zudem durch eine kognitive Testbatterie ermittelt. 25 Probanden spielten anschließend das Videospiele Super Mario 64 DS für zwei Monate 30 Minuten täglich. Zur Verfolgung des Spielverlaufs und Erhebung von Parametern des subjektiven Spielerlebens wurden wöchentlich standardisierte Fragebögen von den Probanden ausgefüllt. Die Kontrollgruppe durfte keine Videospiele benutzen. Nach der Interventionsphase wurden die Tests wiederholt.

Ergebnis: Es stellten sich in der Interventionsgruppe signifikante Verringerungen der Hirnaktivität im anterioren Bereich des präfrontalen Kortex (Brodmannareal 10) ($t(43)=4,26$; $p<0,01$) im Vergleich zur Kontrollgruppe dar ($t(39)=-0,91$; $p>0,1$). Eine 2x2 ANOVA zeigte eine signifikante Interaktion von Zeit und Gruppe ($F(1)=8,76$; $p<0,01$). Das Ausmaß der Aktivitätsveränderung korrelierte zudem positiv mit der erreichten Leistung im Spiel ($r=0,55$; $p<0,01$) und dem empfundenen Spaß ($r=0,55$; $p<0,05$). Ein negativer Zusammenhang bestand mit der empfundenen Frustration ($r=-0,59$, $p<0,05$). Eine signifikante Korrelation mit dem Verlangen zu Spielen konnte nicht nachgewiesen werden ($r=0,09$; $p>0,1$). Für keine der durchgeführten kognitiven Tests konnte eine signifikante Verbesserung durch das Videospieletraining gezeigt werden (alle $p's>0,1$).

Diskussion: Die verringerte Aktivität im Brodmannareal 10 könnte das Resultat von

Lernprozessen sein. Regelmäßiges Training führt zu einer besseren Leistung, geringeren kognitiven Anstrengungen und erforderlicher Aufmerksamkeit, was zu einer verminderten Aktivierung involvierter Hirnareale führt. Allerdings scheinen bezüglich Videospieltraining diese Verbesserungen lediglich auf das Trainingsobjekt an sich beschränkt zu sein, ohne dass signifikante Transfereffekte auf kognitive Anforderungen darüber hinaus feststellbar sind. Zwar zweifeln auch kürzlich durchgeführte Meta-Analysen den bisher postulierten Trainingseffekt durch Videospielkonsum an, andererseits zeigen Untersuchungen bei Probanden mit bereits eingetretenen neurodegenerativen Erkrankungen und kognitiver Einschränkung hier vielversprechende Ergebnisse. Für eine abschließende Beurteilung des Potentials von Videospieltraining ist besonders im Hinblick auf die klinische Anwendbarkeit weitere wissenschaftliche Forschung notwendig.

Abstract

BACKGROUND: Within the past few decades video gaming has become a popular recreational activity all over the world and throughout all social classes. Nevertheless distinct scientific conclusions about potential harm or more importantly benefits of video gaming are lacking. However, recent studies point to possible improvements of some cognitive abilities through the high mental demands of modern games. The prefrontal cortex is the essential neuronal correlate of cognitive processing. Scientific proof for the positive impact on mental performance could lead to implementation in rehabilitative clinical routine of patients with neurodegenerative illness or brain damage in the future.

It was postulated that video gaming is associated with changes in prefrontal activity and moreover improved cognitive performance.

METHODS: Prefrontal brain activity was measured by fMRI in 50 healthy non-gamers. In addition the cognitive performance was registered by a test battery including mental flexibility, multitasking, incompatibility and a Go-NoGo-task. 25 subjects played the video game Super Mario 64 DS for two months 30 minutes daily. The control group was not allowed to play any video games. Game progress and subjective emotional factors were enquired by a questionnaire on a weekly basis. After the intervention phase the tests were repeated.

RESULTS: Two-way Analysis of Variance (2x2 ANOVA) showed a significant decrease of brain activity in Brodmann-area 10 within the gamer-group ($p < 0,01$), while non-gamers showed no significant change ($p > 0,1$). The degree of change in brain activity was positively correlated with the in-game performance ($r = 0,52$; $p < 0,01$). It was also positively correlated with a positive mood ($r = 0,55$; $p < 0,05$) and negatively associated with frustration ($r = -0,59$; $p < 0,05$). No significant correlation with craving was obtained ($p > 0,1$). ANOVAs showed no interaction between time and group in any of the implemented cognitive tasks (all p 's $> 0,1$).

CONCLUSIONS: Decreased brain activity after the intervention phase could be the result of learning processes. Repeated training of a certain task leads to a better performance and lesser cognitive effort and attention, resulting in a lower activation in involved brain areas. However, improvements resulting from the video game training seem to be limited to the training object itself without significant transfer effects to other cognitive demands beyond. These results are in line with recent meta-analyses, challenging the previous opinion of broad cognitive transfer effects offered by video gaming. Anyhow other recent studies seem to show significant cognitive

improvements in patients suffering from neurodegenerative illness. Further investigation is necessary to make a more certain conclusion about the impact of video gaming on cognitive performance.

I. Einleitung

I.1. Videospiele in unserer heutigen Gesellschaft

„Players are artists who create their own reality within the game.“

*Shigeru Miyamoto (Entwickler
von Super Mario 64, Nintendo)*

Innerhalb weniger Jahrzehnte avancierten Videospiele vom absoluten Nischenprodukt für einen sehr eingeschränkten Kundenkreis zu einem weltweiten omnipräsenten Phänomen, das sich durch sämtliche Altersklassen beider Geschlechter zieht. Einer Forsa-Umfrage von 2012 zu Folge gaben 35% der deutschsprachigen Befragten an, regelmäßig Videospiele zu spielen. Bei 14 bis 29 Jährigen lag der Anteil sogar bei fast 68% (Bitkom, 2012). Längst beschäftigen sich nicht nur Kinder und Adoleszente mit dem Medium. Das Durchschnittsalter von Spielern beträgt mittlerweile 35 Jahre bei einer bisherigen Spielerfahrung von 13 Jahren (Entertainment Software Association, 2015). Der Anteil spielender Frauen ist mittlerweile auf 47% gestiegen. Insgesamt spielen alleine in Deutschland über 25 Millionen Menschen über 14 Jahren (Illek, 2013). Für viele Menschen gehört Videospiele in unserer heutigen Zeit zur alltäglichen Freizeitbeschäftigung.

Die Anfänge der Videospiele gehen auf die 50er Jahre zurück. An universitären Großrechnern waren die damaligen Spiele aufgrund der limitierten Rechenkapazitäten lediglich rudimentäre Anwendungen für technikbegeisterte Studenten und Wissenschaftler. Erst mit der fortschreitenden technischen Entwicklung erschwinglicher und leistungsfähiger Videospielekonsolen für den Privathaushalt konnten Klassiker der Videospielegeschichte wie „Pong“, „Space Invaders“ oder „Pacman“ in den 70er Jahren der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Videospieleentwickler erkannten das wirtschaftliche Potential und entwickelten international neue Produkte. Es bildete sich eine milliardenschwere Industrie mit einem Umsatz von 2,66 Milliarden Euro im Jahr 2013 allein in Deutschland (Braver et al., 1997; Bundesverband der Computerspielindustrie.V., 2013) und überstieg damit den Umsatz der Filmindustrie (Krolock, 2014).

Der entscheidende Unterschied von Videospiele zu konventionellen Medien (Bücher, Fernsehen etc.) ist die Möglichkeit der Interaktion. Der Benutzer ist nicht nur passiver Beobachter

feststehender Abläufe, sondern greift selbst aktiv in das Geschehen ein. Rationale und moralische Entscheidungen zu treffen, sowie kreative Lösungen zu entwickeln sind elementare Bausteine von Videospielelementen. Kooperative bzw. kompetitive Spielelemente schaffen zusätzlich eine soziale Komponente und erhöhen die gesellschaftliche Akzeptanz, wodurch die Hemmschwelle sich mit Videospielelementen zu beschäftigen weiter sinkt. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch in Zukunft viele Menschen große Teile ihrer Freizeit mit Videospielelementen verbringen werden. Mit dem technischen Fortschritt geht die Entwicklung von Videospielelementen rasant voran. Die Komplexität und Darstellung nähert sich einer Stufe an, die die Grenze zwischen Spiel und Realität immer stärker verschwimmen lässt.

Diese Tatsache macht die Notwendigkeit intensiver Erforschung der kollektiven und individuellen Auswirkungen deutlich. Die wiederkehrende Diskussion über Zusammenhänge zwischen Videospielelementen und Gewalt oder Sucht, insbesondere bei jüngeren Videospielelementenkonsumenten, wird derzeit kontrovers geführt (Ackerman, 1988; C. A. Anderson & Dill, 2000; C. A. Anderson et al., 2010; Ferguson, 2007; Weinstein 2010).

Erst in den letzten Jahren wurde das wissenschaftliche Interesse vermehrt darauf gelenkt, dass Videospielelementen scheinbar auch positive Effekte, wie beispielsweise auf die kognitiven Fähigkeiten, vermitteln kann. Um eine aussagekräftige Bilanz ziehen zu können, ist auch die Erforschung dieser potentiellen Vorteile und Möglichkeiten essentiell.

I.2. Videospiele und Kognition

Kognition ist ein weit gefasster Begriff, in den verschiedene neuropsychologische Prozesse höherer Ordnung subsumiert sind. Im Detail handelt es sich bei diesen um Arbeitsgedächtnis (Bopp & Verhaeghen, 2005), Multitasking (Verhaeghen, Steitz, Sliwinski, & Cerella, 2003), räumliche Orientierungsfähigkeit (Sliwinski & Hall, 1998), Wahrnehmung, logisches Denken, Sprache, Lernen, Erinnern und Aufmerksamkeit (Bopp & Verhaeghen, 2005). Die Fähigkeit zur Kognition ermöglicht es, die Umwelt kontinuierlich zu analysieren und auf Veränderungen flexibel reagieren zu können. Aus den Folgen der Handlung werden über Lernprozesse Verhaltensmuster für zukünftige Situationen etabliert (Kluwe, 2000). Emotionale Zustände haben dabei entscheidenden Einfluss auf die kognitive Verarbeitung (Berridge & Robinson, 1998).

Von besonderem Interesse ist der Aspekt, dass kognitive Fähigkeiten kein unveränderliches Konstrukt sind, sondern trainiert und verbessert werden können (J. R. Anderson, 1982). Die Übertragung von einer bei einer spezifischen Aufgabe erlernten Fähigkeiten auf eine ähnliche, aber untrainierte Situation wird als Transfereffekt bezeichnet. Man geht derzeit davon aus, dass eine Wiederholung von Prozessen und Verarbeitung der entsprechenden Resultate zu einer Vergrößerung kognitiver Reserven und verbesserten Aufmerksamkeitslenkung führt. Ähnlichen, weniger stark trainierten Aspekten der Aufgabe kann dadurch mehr geistige Kapazität zur Verfügung gestellt werden (Bavelier, Green, Pouget, & Schrater, 2012; C. S. Green, Pouget, & Bavelier, 2010). Der Transfereffekt ist stärker, je mehr Überschneidungen die Übung, durch die die Fertigkeit trainiert wurde, und die Zielaufgabe haben (A. C. Oei & M. D. Patterson, 2014). Dies ist beispielsweise bei rehabilitativen Maßnahmen wichtig, bei denen Fertigkeiten erlernt werden, die in anderen Situationen zur Bewältigung des Alltags beitragen sollen.

Betrachtet man Videospiele aus einer lerntheoretischen Sicht, unterscheiden sich diese wenig von konventionellen Methoden zur Förderung der Kognition. Zur Bewältigung von Herausforderungen in Videospiele ist ebenfalls die erfolgreiche Anwendung verschiedener kognitiver Fähigkeiten notwendig. Ob und welche Fähigkeiten genau beim Videospiele trainiert werden, lässt sich allerdings nicht pauschal beantworten, da verschiedene, noch nicht vollständig geklärte Faktoren hierauf entscheidenden Einfluss haben.

So konnte gezeigt werden, dass frühe, relativ simple Spiele wie beispielsweise Tetris oder Pacman einen positiven Effekt auf die Reaktionszeit, aber auf keine weiteren Fähigkeiten haben (Clark, Lanphear, & Riddick, 1987; Goldstein J, 1997). Anders sieht es bei moderneren, komplexeren dreidimensionalen Spielen aus. Studien der letzten Zeit verwendeten besonders häufig Actionspiele, denen aufgrund ihres oft gewalttätigen Inhalts bisher im Besonderen negative Folgen nachgesagt wurden (A. C. Oei & M. D. Patterson, 2014). Es konnten allerdings durch mehrere Studien Verbesserungen der räumlichen Wahrnehmung, des räumlichen Kurzzeitgedächtnis und der visuellen Aufmerksamkeit bei mit Action-Videospielen erfahrenen Personen nachgewiesen werden (C. Shawn Green & Bavelier, 2003; C. S. Green & Bavelier, 2006, 2012; Greenfield, DeWinstanley, Kilpatrick, & Kaye, 1994). Bemerkenswerterweise zeigten auch Probanden mit bisher wenig Kontakt zu Videospiele eine deutliche Steigerung in diesen Fähigkeiten nach einer Trainingseinheit mit einem Action-Spiel. Dieser Effekt trat schon nach weniger als zehn Stunden ein (C. Shawn Green & Bavelier, 2003; C. S. Green & Bavelier, 2006, 2012). Die Verbesserung räumlicher Wahrnehmung durch das Training mit Action-

Videospielen soll einer Meta-Analyse nach mit der Effektivität von entsprechenden Universitätskursen vergleichbar sein (Uttal et al., 2013).

Aus praktischer Sicht sind besonders Spiele von Interesse, deren Gebrauch zu einer Verbesserung im alltäglichen Leben beitragen. Eine prospektive Studie zeigte einen positiven Zusammenhang zwischen mit Videospielen verbrachter Zeit, Problemlösungsfähigkeiten und besseren akademischen Leistungen (Adachi & Willoughby, 2013). Piloten, die mit dem Spiel Space Fortress trainierten, wiesen eine bessere Leistung beim anschließenden Flugtraining im Gegensatz zur Kontrollgruppe auf (Gopher, Well, & Bareket, 1994). Als Konsequenz wurde das Spiel sogar in die Ausbildung der israelischen Air Force aufgenommen (Boot, Kramer, Simons, Fabiani, & Gratton, 2008). Medizinisches Personal konnte durch 5-wöchiges Training mit einem Ego-Shooter eine signifikante Verbesserung der Leistung in einem Simulator für endoskopische Chirurgie erbringen (Schlickum, Hedman, Enochsson, Kjellin, & Fellander-Tsai, 2009). Bei einer vergleichbaren Untersuchung korrelierte die Leistung im Simulator mit der bisherigen Videospieldauer (Rosser et al., 2007).

Es ist beachtenswert, dass die verwendeten Spiele nicht mit dem Ziel entwickelt wurden, kognitive Fähigkeiten zu trainieren, sondern lediglich kommerziell erhältliche Unterhaltungsmedien waren. Die Verbesserung höherer geistiger Fähigkeiten wie exekutiver Funktionen sind bisher allerdings weniger eindeutig belegt (Boot, Kramer, Simons, Fabiani, & Gratton, 2008). Hierunter versteht man kognitive Prozesse, die Einfluss auf Handlungssteuerung und Informationsverarbeitung üben. So werden auf ein übergeordnetes Ziel ausgerichtete Teilschritte geplant, durchgeführt, überwacht und die Aufmerksamkeit auf diese fokussiert, während für diese Aufgabe irrelevante Informationen unterdrückt werden (Karnath und Sturm 2002). Arbeitsgedächtnis, Aufgabenwechsel und logisches Denken gehören ebenfalls zu den exekutiven Funktionen (Basak, Boot, Voss, & Kramer, 2008).

Bei einer mit einem Echtzeit-Strategiespiel durchgeführten Studie konnten Verbesserungen dieser Fähigkeit beobachtet werden (Basak et al., 2008). Kommerzielle Spiele anderer Genres wurden wenig bis gar nicht untersucht, wobei vereinzelt jedoch auch hier Effekte auf die Kognition nachgewiesen werden konnten. Die in diesem Zusammenhang bisher kaum untersuchten 3-D-Jump'n-Run-Spiele sind für die Forschung besonders interessant, da sie sowohl hohe Ansprüche an das visuell-räumliche Denken wie Actionspiele stellen, aber gleichzeitig höhere kognitive Fähigkeiten wie exekutive Funktionen und logisches Denken wie Strategiespiele beanspruchen.

Bei den meisten bisher durchgeführten Studien handelt es sich um Querschnittsvergleiche von Vielspielern zu Nicht-Spielern, wodurch der Beweis der Kausalität bezüglich der Verbesserung kognitiver Leistungen durch Videospiele problematisch ist. Es kann bei diesen Untersuchungen nicht ausgeschlossen werden, dass Personen mit a priori besseren kognitiven oder anderen beeinflussenden geistigen Eigenschaften eine Affinität zu Videospiele haben (Boot et al., 2008). Zudem muss die Erwartungshaltung von Probanden beachtet werden, die aufgrund ihrer Expertise in diesem Fachgebiet rekrutiert werden und somit in der Regel eine höhere Motivation und positivere Erwartungshaltung haben. Dies kann zur Verzerrung von Testergebnissen führen (Kristjansson, 2013).

Bei der Untersuchung von kognitiven Prozessen ist der präfrontale Kortex als deren neurologisches Korrelat von besonderem wissenschaftlichem Interesse (Nieoullon, 2002).

I.3. Der präfrontale Kortex und neuronale Plastizität

Der präfrontale Kortex (PFC) befindet sich im vorderen Teil des Frontallappens und ist für die Prozessierung höherer Hirnfunktionen wie Handlungsplanung, Arbeitsgedächtnis, Bewusstsein und soziale Interaktion, sowie emotionale Verarbeitung verantwortlich (Braver et al., 1997). Die Fähigkeit des PFC ermöglicht abhängig von internen (Erfahrungen, Motivation, emotionaler Zustand) und externen Bedingungen variabel angepasste Verhaltensmuster zu erzeugen. Eigentlich automatisierte Abläufe können neu an eine veränderte Situation zur Problemlösung angepasst werden. Schäden am PFC führen so zu teils drastischen Einschränkungen des vorausschauenden Planens, sowie der Fähigkeit, sich in einem sozialen Umfeld adäquat zu verhalten (Rommel et al., 1999).

Der PFC ist zytoarchitektonisch wie der restliche Isocortex sechschichtig aufgebaut, weist allerdings im Unterschied zu anderen Arealen eine sehr hohe Anzahl an synaptischen Verbindungen bei einer relativ niedrigen Neuronenzahl auf. Die hohe Verschaltungsdichte ist das Resultat der multiplen afferenten und efferenten Verbindungen zu verschiedenen kortikalen und subkortikalen Arealen (Miller & Cohen, 2001). Durch diese intensive Vernetzung mit Gebieten unterschiedlichster Funktionen ist der PFC in der Lage, Informationen zu analysieren und integrieren, Handlungspläne zu entwickeln, zu koordinieren und diese an untergeordnete

Zentren weiterzuleiten.

Die Informationsverarbeitung im Gehirn ist in der Regel hierarchisch aufgebaut, wobei primäre kortikale Areale ihre Informationen an hierarchisch höhere Ebenen in rostrokaudaler Ausrichtung weiterleiten, die jeweils eine immer stärkere Abstraktion der Informationen repräsentieren. Zytoarchitektonisch wird dies durch einen charakteristischen rostrokaudalen Gradienten der granulären vierten Schicht repräsentiert (Barbas & Pandya, 1989). Auf höchster Ebene jeder Informationsverarbeitung steht ein supramodales Areal mit Sitz im PFC oder anterioren temporalen Kortex, das die Information in den internen und externen Gesamtzusammenhang einordnet. Umgekehrt werden beispielsweise zur Generierung von Bewegungsabläufen im PFC abstrakte Pläne generiert und an untergeordnete Areale („downstream“) bis zum primären motorischen Kortex und von dort über das Rückenmark an den Zielmuskel weitergeleitet (Ramnani and Owen 2004).

Ontogenetisch nimmt der PFC eine besondere Rolle ein, da er im Gegensatz zu anderen Hirnarealen erst mit etwa 21 Jahren vollständig myelinisiert. Die funktionell mit dem PFC verbundenen Fähigkeiten werden parallel dazu erst relativ spät gänzlich ausgebildet (D. J. Miller et al., 2012).

Der Aufbau und die Vernetzung des Gehirns ist auch danach keineswegs statisch, sondern unterliegt einem stetigen Umbauprozess, der als neuronale Plastizität bezeichnet wird. Sie spiegelt die Anpassung an innere und äußere Anforderungen wieder (Brehmer et al., 2011; Scholz, Klein, Behrens, & Johansen-Berg, 2009). Hierbei zeigen sich in Abhängigkeit von der Dauer und Intensität des einwirkenden Reizes anfangs kurzfristige Veränderungen der Übertragung bestehender synaptischer Verbindungen bis hin zur Ausbildung ganz neuer neuronaler Bahnen. Die Aneignung neuer Fähigkeiten und kognitive Anforderungen können als Induktoren der neuronalen Plastizität fungieren (Sagi et al., 2012). Das Ausmaß dieses Vorgangs ist altersabhängig, konnte aber bis ins hohe Alter nachgewiesen werden (Lövdén et al., 2010; Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2010). Die Art und Weise dieser Anpassung ist hierbei in hohem Maße vom Stimulus bzw. von seinem speziellen Anforderungsprofil abhängig. Hirnareale, die in die Verarbeitung des spezifischen Trainings- und Lernprozesses involviert sind, können sich potentiell morphologisch und funktionell verändern (Groussard et al., 2010; Smith, McEvoy, & Gevins, 1999).

Der Prozess der neuronalen Plastizität kann heutzutage unter anderem mittels Magnetresonanztomographie (MRT)-Untersuchungen sichtbar gemacht werden. Diese zeigen

beispielsweise bei der Messung der grauen Substanz von Mathematikern, einem Beruf mit hohem kognitiven Anspruch, eine höhere Dichte unter anderem im PFC und eine Korrelation dieser mit der bisherigen Berufserfahrung (Aydin et al., 2007). Doch auch bereits wenige Übungsstunden mit einer kognitiv fordernden Aufgabe können zu messbaren Hirnveränderungen führen (Sagi et al., 2012).

Die Benutzung von Videospiele kann wie bereits beschrieben potentiell als Trainingsinstrument zum Erlernen und Verbessern kognitiver Fähigkeiten genutzt werden. Bildgebende und funktionelle Untersuchungen zeigen, dass diese Lernprozesse mit Veränderungen der Hirnstruktur und - Aktivität besonders des PFC als neuronales Korrelat kognitiver Prozesse einhergehen (Lerch et al., 2011; Lövdén, Wenger, Mårtensson, Lindenberger, & Bäckman, 2013). Matsuda et al. (2005) zeigte durch eine Nahinfrarotspektroskopie eine veränderte Durchblutung des PFC unter dem Einfluss von Videospieldkonsum bei Kindern. In einer Längsschnittstudie konnten mit funktionellen MRT (fMRT) -Untersuchungen Aktivitätsveränderungen im PFC mit durch Videospieldtraining induzierte kognitive Lernprozesse in Verbindung gebracht werden (Lee, Voss, et al., 2012). Kühn et al. (2014) beschrieb einen positiven Zusammenhang zwischen der mit Videospiele verbrachten Zeit und der kortikalen Dicke im Bereich des dorsolateralen präfrontalen Kortex bei adoleszenten Probanden, was als neuronale Grundlage der videospieldassozierten Verbesserung kognitiver Fähigkeiten diskutiert wurde.

Darüber hinaus wurden bildgebende Untersuchungen zum Thema Videospiele bisher fast ausschließlich unter der Fragestellung nach Sucht und Aggressivität durchgeführt. Besonders unter dem Aspekt des Zusammenhangs von funktionellen Hirnveränderungen zu kognitiven Prozessen gibt es bisher nur wenige Studien.

I.4. Der Einfluss von Emotionen auf Kognition und Hirnfunktion

Die wesentlichste Eigenschaft von Videospiele ist die Erzeugung von Spaß und Motivation beim Spieler. Spieleentwicklerstudios erforschen weltweit deren Erzeugung und Umsetzung, da nicht zuletzt beträchtliche finanzielle Beträge direkt von diesem Faktor abhängen.

Ein klassischer Mechanismus zur Erzeugung von Spielspaß liegt in der richtigen Bilanzierung des Grades der Herausforderung zur Frequenz und Qualität von Erfolgsmomenten, die durch

spezifische Belohnungsreize, wie z.B. neue Levels, Gegenstände und Fähigkeiten, generiert werden. Zu erwartende Belohnungen sollen beim Spieler genügend Motivation erzeugen, auch frustrierende oder schwierige Spielphasen zu überwinden. Dieses Zusammenspiel aus Herausforderung und Belohnung erzeugt Gefühle wie Freude und Befriedigung, die im Folgenden als Spielspaß bezeichnet werden.

Von Interesse ist der seit längerem bekannte Einfluss von Gefühlen und Motivation auf kognitive Prozesse und das Verhalten (Ashby, Isen, & Turken, 1999; Isen, 1999). Der theoretische Zusammenhang wird über die „broaden-and-build“-Theorie (Fredrickson, 2001) definiert. Demnach wird durch eine positive Gefühlslage der Zugang zu einer größeren Bandbreite an geistigen Fähigkeiten wie Aufmerksamkeit oder kognitive Flexibilität und deren Verknüpfung ermöglicht („broaden“), was die Ausbildung neuer Denk- und Verhaltensmuster fördert. Dies befähigt zur Entwicklung von effizienteren und innovativen Problemlösungsstrategien (Isen, 1999). Diese erworbenen Eigenschaften stellen im Folgenden Ressourcen dar („build“), auf die bei Bedarf wie beispielsweise einer bisher unbekanntem Situation zurückgegriffen werden kann (Fitzpatrick & Stalikas, 2008; Fredrickson, 2001).

Wie bereits erläutert dient insbesondere der PFC der Prozessierung kognitiver Prozesse. Dichte neuronale Verbindungen zu Gebieten emotionaler Verarbeitung verdeutlichen die enge Interaktion beider Domänen auch unter neuroanatomischen Gesichtspunkten. Die Funktion dieser Verbindungen liegt in der Modulation kognitiver Vorgänge, um besonders die soziale Interaktionen und das biologische Überleben unter Berücksichtigung der Gesamtsituation zu erleichtern (Gray, 2001).

Der Einfluss von emotionalen Vorgängen auf Arbeitsgedächtnisfunktion, räumliches Gedächtnis (Gray, 2001), komplexe Entscheidungsfindungen und kreative Problemlösungsstrategien (Piech et al., 2010) konnte in entsprechenden Studien beobachtet werden. Hierbei beeinflusste sowohl Intensität als auch Qualität des emotionalen Zustands die kognitive Verarbeitung in einer charakteristischen Art und Weise. So führten positive Gefühle während einer kognitiven Flexibilitätsaufgabe zu einer besseren Leistung, allerdings zugleich zu einer leichteren Ablenkbarkeit (Dreisbach & Goschke, 2004). Bildgebende Verfahren konnten die funktionellen Grundlagen dieser Interaktion von Gefühlen und Kognition aufzeigen. Belohnungserwartungen veränderten die Aktivität im PFC während der Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten (Leon & Shadlen, 1999) und exekutiven Funktionen (Kouneiher, Charron, & Koechlin, 2009; Locke & Braver, 2008).

In einer Positronen-Emissions-Tomographie (PET) - Untersuchung wurden bei Probanden unterschiedliche Stimmungen erzeugt und anschließend eine kognitive Aufgabe durchgeführt. Das bei dieser Aufgabe eigentlich typische Hirnaktivitätsmuster veränderte sich unter anderem im PFC abhängig von der jeweiligen Stimmung (Baker, Frith, & Dolan, 1997). Die herausragende Rolle von Emotionen auf die Funktion des PFC wurde in einer Meta-Analyse mit 55 PET- und fMRT-Studien verdeutlicht (Phan, Wager, Taylor, & Liberzon, 2002). Besonders mediale und rostrale Bereiche zeigten hier eine regelmäßige Aktivierung auf emotionale Reize. Zur Erzeugung positiver Stimmungen wurden in den meisten Studien sehr einfache Stimuli (z.B. unerwartetes kleines Geschenk, Musik, lustige Cartoons lesen etc.) verwendet, die dennoch zu signifikant messbaren Leistungsunterschieden führten. Videospiele hingegen machen sich abstrakterer, aber weitaus ausgefeilterer Mechanismen zu Nutze, um das Interesse der Spieler über lange Zeiträume aufrecht zu erhalten. Die gleichzeitige, aufeinander abgestimmte Darbietung von optischen Reizen, musikalischer Untermalung, sozialen Komponenten und besonders Belohnungsreizen können die Stimmung von Spielern effektiv und nachhaltig beeinflussen. Videospiele sind aufgrund der spielerischen Verzahnung emotionaler Vorgänge und kognitiver Anforderungen bevorzugt zur Erforschung einer solchen Interaktion geeignet. Für die klinische Forschung ist dies von besonderer Bedeutung, da konventionelle kognitive Übungen in der Regel eher trocken und unbefriedigend sind und dadurch zu einer Beeinträchtigung von Lernprozessen führen können (Isen, 1999).

Der Zusammenhang von durch Videospiele erzeugte emotionale Zustände und der damit verbundenen Veränderung von Hirnfunktionen im PFC ist bisher nicht erforscht worden.

I.5. Videospiele als therapeutische Option

Das derzeitige Gesundheitssystem besonders in Deutschland, aber auch weltweit sieht sich zunehmend mit einer stetig wachsenden Zahl älterer und chronisch erkrankter Patienten konfrontiert. Besonders Krankheiten, die mit einem progredienten Verfall kognitiver Fähigkeiten einhergehen, werden mit dem Trend der demographischen Entwicklung häufiger und führen zu einer massiven Einschränkung der Lebensqualität und zunehmender finanzieller Belastung der Gesellschaft. Die Wiedererlangung oder auch nur die Aufrechterhaltung der geistigen

Fähigkeiten bei betroffenen Patienten gestaltet sich auch nach jahrzehntelanger Forschung als überaus schwierig, da sowohl derzeitige aktuelle pharmakologische als auch rehabilitative Maßnahmen bisher unbefriedigend sind.

Interindividuelle Krankheitsverläufe von neurodegenerativen Erkrankungen zeigen eine auffallend häufige Abweichung der objektiv messbaren Hirnschädigung zum tatsächlichen klinischen Ausprägungsgrad (Stern, 2002). Die vermutete Ursache dieser Beobachtung ist die sogenannte kognitive Reserve, die als Puffer für verschiedenste kognitive Fähigkeiten bei altersabhängigen und hirnpathologischen Prozessen wirkt (Y. Stern, 2009; Yaakov Stern et al., 2011). Man geht derzeit davon aus, dass die kognitive Reserve dabei nicht aufgabenspezifisch ist und nachweislich zu einer Verbesserung des alltäglichen Lebens beitragen kann (Stern, 2009; Stern et al., 2011).

Langjährige kognitive Stimulation wie ein aktives soziales Leben, der Bildungsgrad, geistig fordernde Freizeitbeschäftigung und andere Einflussfaktoren können zu einer Vergrößerung der kognitiven Reserve über die Lebenszeit beitragen und das Risiko für die Entwicklung dementieller Erkrankungen senken bzw. das Manifestationsalter hinauszögern (Barulli & Stern, 2013; Carreiras et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; Poletti, Emre, & Bonuccelli, 2011).

Neuronale Korrelate für die kognitive Reserve konnten durch funktionelle bildgebende Verfahren im PFC nachgewiesen werden (Habeck et al., 2003; Stern et al., 2008). Eine höhere Summe aus mehreren für die kognitive Reserve relevanten Parametern (u.a. prämorbidem Intelligenz-Quotient, Freizeitaktivität, Bildungsstand etc.) konnte in einer fMRT-Untersuchung mit einer verringerten Aktivität im PFC im Sinne einer effektiveren neuronalen Verarbeitung bei gesunden älteren Personen in Verbindung gebracht werden (Solé-Padullés et al., 2009). Bei an Morbus Alzheimer Erkrankten ging allerdings eine größere kognitive Reserve mit einer verstärkten Hirnaktivität einher, da hier eine neuronale Kompensation durch eine größere Kapazität möglich ist, so dass auch schwierigere Aufgaben bis zu einem gewissen Grad noch regelrecht bewältigt werden können (Solé-Padullés et al., 2009). Stern et al. (2008) konnte einen engen Zusammenhang zwischen kognitiver Reserve und der exekutiven Funktion nachweisen und nutzte als Trainingsinstrument in einer Folgestudie (Stern et al., 2011) erfolgreich ein Videospiel mit entsprechendem Anforderungsprofil.

Kognitives Training bietet in der Tat in einem gewissen Rahmen die Möglichkeit geistige Fähigkeiten zu erhalten oder zu verbessern, um das Alltagsleben von Patienten zu vereinfachen. Der fördernde Einfluss wurde in den letzten Jahren vermehrt bei an Morbus Parkinson

erkrankten Patienten untersucht. Zwar stehen bei dieser Erkrankung Bewegungsstörungen im Vordergrund, allerdings leiden zwischen 24%-31% (Emre et al., 2007) zusätzlich an dementiellen Störungen und ein weitaus größerer Teil zumindest an leichten kognitiven Einschränkungen, die sich bisher nicht effektiv mit Antidementiva behandeln lassen (Rolinski, Fox, Maidment, & McShane, 2012).

Unterschiedliche kognitive Fähigkeiten werden bei konventioneller Therapie separat mit speziellen Computerprogrammen unter Supervision von Fachkräften trainiert. Neben den hohen Kosten und benötigten Ressourcen solcher Therapieformen sind wissenschaftliche Grundlagen für die breite klinische Anwendung nicht eindeutig. Erworbene Fähigkeiten sind in der Praxis weitestgehend auf die spezifische Situation und den Kontext beschränkt, da der Lernprozess ein hoch spezialisierter Vorgang ist (Jovancevic, Rosano, Perera, Erickson, & Studenski, 2012).

Owen et al. (2010) zeigte in einer groß angelegten Studie mit über elftausend Probanden nach sechswöchigem Training einer konventionellen kognitiven Testbatterie zwar Verbesserungen in den trainierten Übungen, allerdings konnten diese Leistungsverbesserungen nicht auf andere, sogar eng verwandte kognitive Aufgaben übertragen werden. Dieser fehlende Transfereffekt macht rehabilitative Verfahren, deren Ziel die Verbesserung alltäglicher Fähigkeiten ist, mit konventionellen Mitteln problematisch.

Die Nachfrage nach der Möglichkeit, spielerisch bessere kognitive Fähigkeiten zu erlangen und damit altersabhängige geistige Abbauprozesse zu verlangsamen, wurde von der Videospieldindustrie schnell erkannt und entsprechende Anwendungen entwickelt. Spiele wie „Dr. Kawashimas Gehirnjogging“, die ausschließlich aus kognitiven Trainingsbatterien bestehen, erfreuen sich trotz mangelnder wissenschaftlicher Beweise des allgemeinen Nutzens großer Beliebtheit.

Wissenschaftliche Belege weisen allerdings für klassische Videospiele, die verschiedene kognitive nicht einzeln ansprechen, sondern diese in einem übergeordneten, zusammenfassenden Kontext trainieren, auf ein bisher ungenutztes medizinisches Potential hin.

Zimmermann et al. (2014) verglich bei Morbus Parkinson Patienten ein konventionelles kognitives Trainingsprogramm, mit dem unter anderem Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit und Planung getestet wurde, mit einem klassischen Videospiel. Die Ergebnisse zeigten keinen Vorteil der üblichen Kognitionstrainingsprogramme, im Gegenteil führte das Videospieltraining zu einem signifikanten Vorteil bei der Aufmerksamkeit. Videospiele als motivationsbasiertes Konstrukt aus vernetzten kognitiven Anforderungen zu sehen, war die hier zu Grunde liegende

Erklärung. Besonders die Notwendigkeit sich über einen längeren Zeitraum permanent an neue Situationen im Spiel zu adaptieren, soll zu einer besseren Kognition beigetragen haben (Zimmermann et al., 2014). Neue Fähigkeiten werden zudem schneller erlernt und erlauben einen stärkeren Transfereffekt, wenn sich deren Kontext und Schwerpunkt innerhalb der Übungsphase kontinuierlich ändert (Kramer, Larish, Weber, & Bardell, 1999). Eine hohe Komplexität, den eigenen Fähigkeiten angepasste Anforderungen, sowie eine inhaltliche Anlehnung an reale Gegebenheiten verstärken diesen Effekt zusätzlich (C. S. Green & Bavelier, 2008).

Videospiele erfüllen genau diese Kriterien und machen die praktische Anwendung zu rehabilitativen Zwecken plausibel.

Neben therapeutischen Möglichkeiten sind auch nicht zuletzt ökonomische Faktoren von Videospielen hervorzuheben. Sie sind überall leicht erhältlich und gerade im Gegensatz zu anderen medizinischen Maßnahmen sehr preiswert und ressourcenschonend, da kaum Personal zur Durchführung notwendig ist und eine Umsetzung auch im häuslichen Umfeld möglich ist.

Es existieren nach jahrzehntelanger Videospieldentwicklung unzählige Produkte von hoher Qualität, deren Mannigfaltigkeit es ermöglicht, unterschiedlichste Ansprüche an zu trainierende Fähigkeiten zu befriedigen. So konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Videospiegelgenres jeweils andere Hirnareale ansprechen und Fähigkeiten trainieren (Ballesteros et al., 2014; Basak et al., 2008; Primack et al., 2012). Die zu erwartenden Nebenwirkungen besonders im Vergleich zu pharmakologischen Therapien wären vernachlässigbar gering.

Sieht man Videospiele in einem potentiellen klinischen, rehabilitativen Setting, sind es besonders die oft vernachlässigten Faktoren Spaß und Motivation an einer Beschäftigung, die Videospiele von allen anderen bisher eingesetzten medizinischen Maßnahmen unterscheiden. Diese Kerneigenschaften könnten zu einer deutlichen Förderung der Patientenadhärenz führen. Der erläuterte Zusammenhang zwischen Motivation und Kognition könnte zudem zu schnelleren Lernprozessen beitragen (Bahlmann, Aarts, & D'Esposito, 2015; Jay, 2003).

I.6. Abgeleitete Arbeitshypothesen

Bisherige Studien deuten darauf hin, dass Videospieldkonsum zur Verbesserung besonders visueller-räumlicher Fähigkeiten führt, allerdings wurde der Zusammenhang zu höheren kognitiven Funktionen und deren spezifischen neuronalen Mechanismen bisher kaum erforscht. Längsschnittstudien zu diesem Thema wurden nicht in ausreichendem Ausmaß durchgeführt und die häufiger angewandten Querschnittstudien ermöglichen keine definitive Einschätzung der Kausalität des Einflusses von Videospieldkonsum auf Hirnprozesse.

Die folgende prospektive Studie verwendet fMRT-Untersuchungen, Fragebögen und kognitive Tests zur Überprüfung der Auswirkung von Videospieldkonsum auf neuronale Prozesse im präfrontalen Kortex im Vergleich zu einer Kontrollgruppe.

Aus der obig dargestellten Analyse des derzeitigen Forschungsstandes ergeben sich die folgenden Arbeitshypothesen.

Für die erfolgreiche Bewältigung von Herausforderungen in Videospielen sind vielfältige kognitive Fähigkeiten erforderlich, deren neuronales Korrelat hauptsächlich der PFC ist. Mittels fMRT-Untersuchungen wird die Hirnaktivität der Spieler- und Kontrollgruppe vor und nach der Interventionsphase untersucht.

Hypothese Ia: Im Unterschied zur Kontrollgruppe kommt es nach der Interventionsphase in der Spielergruppe zu einer funktionellen Veränderung der Aktivität in Bereichen des präfrontalen Kortex.

Kontinuierliches Training führt idealerweise zu einer Leistungssteigerung in der geübten Aktivität und einer Beeinflussung der Aktivität involvierter Hirnareale. Sogenannte „Highscores“ sind spielspezifische objektive Parameter, die einen intersubjektvergleich des Spielerfolgs ermöglichen. Von Interesse ist der Zusammenhang zwischen den in Hypothese I positiv getesteten Hirnarealen und diesem Marker.

Hypothese Ib: Bei den Probanden der Spielergruppe besteht eine positive Korrelation zwischen dem Ausmaß der präfrontalen Hirnaktivitätsveränderungen und der Spielleistung.

Der fördernde Einfluss von positiven Emotionen auf neuronale Verarbeitungsprozesse ist seit geraumer Zeit bekannt (Koepp et al., 1998; Shigemune et al., 2010), wurde jedoch im Kontext von Videospiele bisher kaum erforscht. Um diese überaus wichtige Eigenschaft von Videospiele zu objektivieren, wurden mittels standardisierter Fragebögen für alle Probanden der Spielergruppe die Faktoren Spielspaß, Verlangen und Frustration in wöchentlichen Intervallen ermittelt.

Hypothese II: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Hirnaktivitätsveränderung im PFC und dem Spielspaß und dem Verlangen bei den Probanden der Spielergruppe und umgekehrt eine negativer Zusammenhang mit der Frustration.

Die Frage nach einem Transfereffekt kognitiver Fähigkeiten durch Videospiele lässt sich derzeit nicht eindeutig beantworten (Gobet et al., 2014; Lee, Boot, et al., 2012; Toril, Reales, & Ballesteros, 2014). Inwieweit sich durch die Benutzung von Videospiele erworbene Fähigkeiten auf andere Anforderungen projizieren lassen, soll mit Kognitionstests untersucht werden.

Hypothese III: Die Spielergruppe zeigt im Gegensatz zur Kontrollgruppe nach der Intervention eine bessere Leistung in den kognitiven Tests.

II. Material und Methodik

II.1. Probanden

II.1.1. Probandenrekrutierung

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Berliner Charité bewilligt. Potentielle männliche und weibliche Probanden wurden über Online-Anzeigen rekrutiert. Mittels anschließender Telefoninterviews wurde der Untersuchungsablauf ausführlich erläutert und die Tauglichkeit zur Teilnahme an der Studie überprüft.

Um psychische Erkrankungen auszuschließen wurde ein MINI (Mini-International Neuropsychiatric Interview) durchgeführt. Zudem durften keine neurologischen Erkrankungen bestehen. Die Probanden mussten rechtshändig sein und über gute Deutschkenntnisse verfügen. Die Einnahme von Psychopharmaka, sowie ein mit einer MRT-Untersuchung nicht vereinbarer körperlicher (Herzschrittmacher, intrakranielle OP-Clips etc.) oder geistiger (Klaustrophobie) Zustand führte zum Studienausschluss.

Bedingung zur Studienteilnahme war ein möglichst geringer Kontakt im bisherigen Leben mit Videospielen. Über Fragebögen wurde ein genaues Bild über das Videospiegelverhalten der Probanden hinsichtlich Dauer und Spielgenres insbesondere der letzten sechs Jahre erstellt. In den letzten 6 Monaten sollte lediglich vernachlässigbarer Kontakt mit Videospielen erfolgt sein (< 1h/Woche). Im Speziellen wurde gezielt nach suchtähnlichen Auffälligkeiten bei bisherigen Videospieelerfahrungen gesucht. Das in der Interventionsphase verwendete Spiel durfte bisher nicht gespielt worden sein. In einer Zusammenschau der erhobenen Daten wurde die Möglichkeit zur Studienteilnahme ermittelt.

Die Probanden wurden anschließend randomisiert der Kontrollgruppe oder der Interventionsgruppe zugeordnet.

Die Zahl der weiblichen Probanden überwiegt in beiden Gruppen, da viele männliche Probanden aufgrund früheren Videospiegelkonsums nicht in die Studie eingeschlossen werden konnten.

II.1.2. Beschreibung des Probandenkollektivs

| | Spielergruppe | Kontrollgruppe | t-Wert | d.f. | p-Wert |
|---|----------------------|-----------------------|---------------|-------------|---------------|
| Geschlecht (m/w) | 25 (18/7) | 25 (18/7) | - | - | 1 |
| Alter - Jahre (SD) | 23,8 (4) | 23,4 (3,8) | -0,16 | 42 | 0,72 |
| Alkohol - Tage mit Alkoholkonsum/Monat (SD) | 3,46 (2,28) | 3,81 (3,06) | -0,44 | 43 | 0,66 |
| Videospielzeit - Stunden/Monat in den letzten 12 Monaten (SD) | 0,37 (0,96) | 1,03 (3,06) | -1,2 | 48 | 0,24 |

Keine der dargestellten Variablen zeigt im t-Test für unabhängige Stichproben einen signifikanten Gruppenunterschied.

II.2. Nintendo DS und Super Mario 64

Der in unserer Studie für die Spielergruppe zur Verfügung gestellte Nintendo DS (Dual Screen) ist eine von Nintendo entwickelte und 2005 in Europa veröffentlichte Handheld-Konsole. Dies sind kleine tragbare elektronische Geräte, die in ihrer Hauptfunktion zum Videospielen eingesetzt werden. Da die normalerweise peripheren Zusatzgeräte wie Monitor, Eingabegeräte, Lautsprecher etc. im Gerät integriert sind und diese durch einen aufladbaren Akku versorgt werden, ist man mit einer Handheld-Konsole mobil. Dies macht es den Probanden leichter, das Spielen in ihren Alltag zu integrieren.

Das Nintendo DS zeichnet sich technisch durch zwei übereinander liegende Bildschirme aus, von denen der untere über eine Touchscreen-Technologie verfügt. Um weitestgehend homogene Ausgangsbedingungen zu schaffen, wurden die Probanden darauf hingewiesen das eingesetzte Spiel ausschließlich über die konventionelle Steuerung (Steuerkreuz und Tasten) zu spielen.

Das genutzte Spiel lehnt sich an das ursprünglich 1997 in Europa erschienene Spiel Super Mario 64 von Nintendo an. 2005 wurde es mit einigen inhaltlichen Neuerungen für den Nintendo DS wiederveröffentlicht. Das Spiel gilt mit mehr als 11,9 Millionen verkauften Exemplaren als überaus erfolgreich. Super Mario 64 war das erste „Jump'n-Run-Spiel“ in einer dreidimensionalen, größtenteils offenen und frei begehbaren Spielwelt. Dies ermöglichte dem Spieler ein größeres Maß an Handlungsfreiheit. Zuvor waren Spiele dieses Genres in zweidimensionalen Welten mit einer dementsprechend simpleren Spielmechanik angesiedelt.

In „Jump'n-Run-Spielen“ bewegt sich die Spielfigur hauptsächlich durch Rennen und Springen durch die Spielwelt. Diese Funktionen können vielseitig genutzt werden, um zum Beispiel Gegner durch Sprünge auf den Kopf zu besiegen oder durch das zielgenaue Springen auf sich bewegende Plattformen voranzukommen. Der Spieler bekommt dabei im Laufe des Spiels ein Repertoire an Bewegungsabläufen und Fähigkeiten an die Hand, die er selbstständig an den richtigen Stellen im Spiel einsetzen muss.

Auf dem Nintendo DS wird auf dem oberen Bildschirm das eigentliche Spielgeschehen dargestellt, bei dem der Spieler den Hauptcharakter aus der „Third-Person-Perspektive“ steuert. Auf dem unteren Bildschirm ist eine Karte des Gebietes mit dem aktuellem Aufenthaltsort des Spielers, sowie wichtige Statusinformationen wie Leben, Münzen oder Sternanzahl abgebildet.

Das Spielareal besteht aus einem Schloss und dem umgebenden Garten, in dem die Zugänge zu verschiedenen Levels untergebracht sind. Diese gliedern sich in unterschiedliche Themenbereiche z.B. Wüsten, Wolkenstädte, Schnee- oder Lavalandschaften etc. Ziel des Spiels ist es, alle in den verschiedenen Levels versteckten Sterne zu finden, insgesamt 150, um den Endgegner „Bowser“ zu besiegen und die entführte Prinzessin zu befreien. Die Levels weisen dabei größtenteils eine komplexe, mehrstöckige Architektur auf und dem Spieler wird der



Abb. 1: Super Mario 64 DS. Auf dem oberen Bildschirm wird das eigentliche Spielgeschehen aus der Third-Person-Perspektive gezeigt. Unten erscheint eine Karte der Umgebung und zusätzliche Informationen (Sterne, Münzen etc.). (Diese Abbildung ist alleiniges Eigentum von Nintendo©.)

richtige Weg in den allermeisten Fällen nicht vorgegeben, sondern muss selbstständig erkundet werden.

Zur Erlangung der Sterne müssen unterschiedliche Aufgaben gelöst werden. Diese gliedern sich in „Suchen und Finden“-Aufgaben, in denen der Stern an einem schwer erreichbaren Ort versteckt ist, in Kampf-Aufgaben, in denen „Endgegner“, die jedes Mal eine andere Taktik erfordern, besiegt werden müssen, in Wettrennen gegen Nicht-Spieler-Charaktere oder in Denkrätsel, die die intellektuellen und kombinatorischen Fähigkeiten des Spielers fordern. Zusätzlich helfen Hinweise, die entweder klar verständliche Anweisung geben („Besteige den Berg“) oder eher kryptisch sind („Denke an den Wandsprung!“; „Flieg ins Blaue!“) und erst die Entschlüsselung des Rätsels zum Stern führt.

Zusätzlich werden im Laufe der Zeit drei weitere Charaktere freigespielt, die neben den Standardfähigkeiten zusätzliche Spezialfähigkeiten besitzen (z.B. Unsichtbarkeit), mit deren Hilfe schwer erreichbare Sterne erlangt werden können.

II.2.1. Charakterisierung der erforderlichen kognitiven Fähigkeiten

Videospiele erfordern abhängig vom jeweiligen Genre unterschiedliche Fähigkeiten vom Spieler. Super Mario 64 als komplexes 3-D-Jump'n-Run erfordert hierbei eine große Bandbreite an Hirnfunktionen, die aufgrund des Spieldesigns weite Überschneidungen mit anderen Spielegenres haben. In diesen konnten wie in I.2. erläutert durch andere Studien bereits Hinweise auf Trainingseffekte gefunden werden.

Zuerst einmal müssen visuelle und akustische Informationen aufgenommen und verarbeitet werden. Selbst wenig komplexe Spiele erfordern dabei die Überwachung mehrerer Informationsquellen gleichzeitig, sodass im Sinne von Multitasking die Aufmerksamkeit auf für die aktuelle Situation relevante Reize gerichtet werden muss. Als unwichtig deklarierte Vorgänge rücken in den Hintergrund.

Aus den multimodalen Informationen werden im Rahmen des Gesamtzusammenhangs Handlungsoptionen, Haupt- und Zwischenziele entworfen. Erfahrungen und spielspezifische Feedbackmechanismen beeinflussen hierbei maßgeblich den Entscheidungsprozess.

Zur Navigation in den labyrinthartigen Welten ist ein gutes räumliches Gedächtnis und

Orientierungsfähigkeit im dreidimensionalen Raum erforderlich. Eine schnelle Reaktionsfähigkeit und nicht zuletzt Geschicklichkeit ist notwendig, um auf plötzliche Ereignisse adäquat reagieren zu können.

Logisches Denken wird zur Entwicklung von Problemlösungsstrategien und für die Rätsel benötigt. In vielen Situationen herrscht Zeitdruck, so dass die Prozesse effektiv, koordiniert und schnell ablaufen müssen. Die ständig wechselnden Anforderungen, Spielwelten und Schwierigkeitsgrade erfordern permanente Neukombinationen der erlernten Spielmechaniken in ungewohnten Zusammenhängen.

Der Schwierigkeitsgrad steigt im Spielverlauf und erfordert die Verinnerlichung und situationsgerechte Anwendung der erlernten spielerischen Fähigkeiten.

II.3. Untersuchungsablauf

Alle Probanden erhielten vor der Interventionsphase eine fMRT-Untersuchung. Zeitnah dazu wurden ausgewählte standardisierte kognitive Testungen durchgeführt. Diese wurden um eine ausführlichere Videospieldiagnostik, Alkohol-, Nikotin- und Drogenfragebögen und psychiatrische Screeningtests erweitert¹. Nach Abschluss der Untersuchungen erhielten die Testpersonen der Spielergruppe einen Nintendo DS mit dem Spiel Mario 64 DS. Den Probanden wurde eine standardisierte Powerpoint-Präsentation über die wichtigsten Funktionen des Nintendo DS und grundlegenden Spielmechaniken vorgeführt. Es wurde ausdrücklich dazu aufgefordert eine tägliche Spielzeit von mindestens 30 Minuten über zwei Monate zu erreichen. Für Fragen oder Probleme im Spiel stand den Probanden eine „Hotline“ zur Verfügung.

Die Kontrollgruppe erhielt kein Videospieldiagnostik und wurde explizit darauf hingewiesen, sich nicht mit Videospieldiagnostik zu beschäftigen.

Nach der Interventionsphase wurden in beiden Gruppen erneut eine fMRT-Untersuchung, sowie die kognitiven Tests durchgeführt. Nach Abschluss aller Tests wurden die Spielekonsolen und das Spiel zurückgegeben.

Die Probanden erhielten als Vergütung für den zeitlichen Aufwand der Tests und der MRT-Untersuchungen 100 Euro. Es bestand die Möglichkeit, einen Bonus in Form eines 20 Euro-

¹ BDI, BIS-11, BISBAS, Edinburgh Handedness Inventory, Fragerström, Panksepp-ANPS, Rauchgeschichte, SSSV, STAI-T, TCI, Trinkgeschichte, video gaming und CSVK

Gutscheines zu erhalten, sollte die erforderliche Spielzeit erfüllt worden sein.

II.4. Wöchentliche Fragebögen

Zur Verfolgung des Spielverlaufs während der Interventionsphase erhielten die Probanden einen standardisierten Fragebogen. Dieser musste den Studienbetreuern nach jeder abgeschlossenen Spielwoche per E-Mail zugeschickt werden. In diesem wurde die tägliche Spielzeit erfragt und der Spielfortschritt mithilfe der im Spiel gesammelten Sterne ermittelt. Des Weiteren sollten die Probanden über eine Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 7 (trifft vollkommen zu) die Attribute Frustration, Schwierigkeiten mit der Steuerung, die Fähigkeit sich in das Spiel hineinzudenken und zu orientieren, und wie schwierig es war die Mindestspielzeit zu erreichen, bewerten. Der Spielspaß wurde durch die Freude am Spiel und der Motivation definiert. Der Parameter Verlangen setzte sich aus dem Grad der gedanklichen Beschäftigung außerhalb der Spielzeit und ob es schwer fiel, mit dem Spiel wieder aufzuhören zusammen.

Der Fragebogen ermöglichte, einen freien Text über frustrierende Vorkommnisse zu verfassen. Falls in der Woche andere Spiele außer Mario 64 gespielt wurden, sollten diese inklusive damit verbrachter Spielzeit angegeben werden.

Um die von den Probanden auf den wöchentlichen Fragebögen angegebene Sternanzahl zu verifizieren, wurde diese nach Rückgabe der Spielmodule mit den Werten auf den jeweiligen Spielständen abgeglichen.

II.5. Funktionelle Magnetresonanztomographie

II.5.1. Physikalische Grundlagen

Die Funktionsweise des MRTs basiert auf dem physikalischen Verhalten von Wasserstoffatomen in einem Magnetfeld. Deren Atomkern hat wie alle Teilchen mit einer ungeraden Protonenzahl einen von null abweichenden Spin. Diese Rotation um die eigene Achse führt in Kombination mit der elektrischen Ladung des Protons zu einem magnetischen Moment. Hierdurch werden

Magnetfelder beeinflusst und in Spulen eine Spannung induziert. Die Drehachsen sämtlicher Protonen in einem Körper sind ungerichtet, so dass in der Summe keine magnetischen Eigenschaften vorliegen.

Während einer MRT-Untersuchung wird von außen ein starkes Magnetfeld angelegt, das die Rotationsachsen der Protonen entweder parallel oder antiparallel zur Hauptmagnetfeldachse ausrichtet. Nach der Boltz-Mann-Verteilung kommt der energetisch günstigere parallele Zustand geringfügig häufiger vor als der antiparallele. Nur parallel ausgerichtete Protonen, die keinen antiparallelen Gegenspieler haben, erzeugen eine nach außen wirksame Magnetkraft.

Im Magnetfeld existiert für die Protonen neben dem Spin noch die Eigenschaft der Präzessionsbewegung, also einer Kreiselbewegung um die Hauptmagnetfeldachse. Die Frequenz dieser Kreiselbewegung wird als Präzessions- oder Larmorfrequenz definiert und ist proportional zur Stärke des Magnetfeldes. Wird ein der Präzessionsfrequenz entsprechender Hochfrequenzimpuls ausgesendet, werden einige der zur Magnetfeldachse parallel ausgerichteten Protonen in den energiereicheren antiparallelen Zustand versetzt, wodurch die Longitudinalmagnetisierung entlang der Hauptmagnetfeldachse abnimmt. Des Weiteren werden die auf der Präzessionsbahn normalerweise örtlich nicht synchronisierten Protonen synchronisiert und befinden sich anschließend in der gleichen Phase der Präzessionsbewegung. Dies führt zu einer verstärkten Magnetisierung entlang der Transversalebene.

Erlischt der Hochfrequenzimpuls, fallen Longitudinal- und Transversalmagnetisierung wieder in den ursprünglichen Zustand zurück, was als Relaxation bezeichnet wird. Hierbei springen die antiparallelen Protonen in den parallelen Zustand, wobei ein Signal mit der gleichen Frequenz, aber abgeschwächter Amplitude wie das eingestrahlte Hochfrequenzsignal entsteht. Die emittierten Impulse können registriert und zur Erzeugung von MRT-Bildern herangezogen werden.

Die oben genannten Relaxationen benötigen eine gewisse Zeit, die von Gewebe zu Gewebe unterschiedlich ist. Die T1-Zeit beschreibt die Zeit, die für den Wiederaufbau von 63% des Longitudinalmagnetgesamtvektors notwendig ist, was hauptsächlich davon abhängt, wie schnell die von den Protonen abgegebene Energie vom jeweils umgebenden Gewebe aufgenommen werden kann. Die T1-Zeit wird deshalb auch als Spin-Gitter-Relaxation bezeichnet.

Ähnlich verhält es sich mit der Relaxation der Transversalmagnetisierung, wobei hier die T2-Zeit den Zeitpunkt beschreibt, an dem 63% der ursprünglichen Quermagnetisierung des Gewebes wieder in den ursprünglichen demagnetisierten Zustand zurückkehrt. Dies ist abhängig von

Inhomogenitäten im externen Hauptmagnetfeld und von der Beeinflussung der internen Magnetfelder der Spins untereinander. In Wasser zum Beispiel können sich Protonen relativ frei bewegen, wodurch deren Bewegungsphasen länger synchronisiert sind. Dies führt zu einem stärkeren Signal in T2-gewichteten Bildern. Aufgrund der Beeinflussung der Spins untereinander wird die T2-Zeit auch als Spin-Spin-Relaxation bezeichnet.

Da durch den Hochfrequenz-Impuls grundsätzlich alle Protonen im zu untersuchenden Körper angeregt werden, kann zuerst keine örtliche Zuordnung der Signale getroffen werden. Um diese der entsprechenden Lokalisation im Körper zuweisen zu können, wird das Hauptmagnetfeld mittels Gradientenspulen so überlagert, das in jeder Volumeneinheit des zu messenden Objektes eine andere Feldstärke vorliegt. Da die Larmorfrequenz von der Feldstärke abhängt, sind die Resonanzbedingungen immer nur in einem bestimmten Areal erfüllt, wodurch der abgestrahlte Hochfrequenzimpuls nur aus diesem Areal detektiert werden kann.

II.5.2. Funktionelle Bildgebung

Um neben der Darstellung der Anatomie auch die Funktion verschiedener Gehirnareale untersuchen zu können, nutzt man den sogenannten BOLD (blood oxygen level dependant contrast)-Effekt. Abhängig von der Sauerstoffsättigung werden die magnetischen Eigenschaften des Blutes beeinflusst. Während sich Oxyhämoglobin diamagnetisch verhält, induziert Desoxyhämoglobin lokale Magnetfeldgradienten um Blutgefäße.

Wird ein bestimmtes Hirnareal stimuliert, erhöht sich dessen Metabolismus und somit auch seine Durchblutung. Die Nervenzellen verbrauchen allerdings weniger Sauerstoff als durch die erhöhte Perfusion zur Verfügung gestellt wird. Somit erhöht sich im venösen Schenkel die Konzentration von Oxyhämoglobin im Vergleich zum Desoxyhämoglobin. Die Magnetfeldinhomogenitäten um die entsprechenden Blutgefäße verringern sich. Durch die daraus resultierende verzögerte Dephasierung der Protonenspins kommt es zu einem Signalanstieg in T2*.

Um eine fMRT-Messung zu erstellen, müssen durch geeignete Stimuli die zu untersuchenden Hirnareale aktiviert und mit Kontrollsignalen aus Ruhephasen verglichen werden. Die Abweichungen des BOLD-Signals zwischen beiden Paradigmen sind eher schwach und können somit nicht direkt dargestellt werden, sondern werden durch komplexe statistische Verfahren

berechnet. Signifikante Aktivitätsunterschiede werden räumlich zugeordnet und farblich kodiert.

II.5.3. MRT-Scan Prozedur

Zur Akquisition der fMRT-Daten (T2*-gewichtete „echoplanar images“ (EPI) zur Untersuchung des BOLD-Kontrasts) wurde ein Siemens Tim Trio 3T (Erlangen, Germany) verwendet. Für die Untersuchung wurde eine 12-kanalige Standardkopfspule (36 axiale Schichten; 3 mm Schichtdicke; Voxelgröße=3x3x3,6 mm; time to repetition (TR)=2 Sek.; time to echo (TE)=30 ms; field of view (FoV)=216x216; Flip-Winkel=80°; Matrixgröße=64x64 in axialer Orientierung) benutzt.

In der gleichen Sitzung wurden zusätzlich T1-gewichtete strukturelle Bilder mit einer auf dem ADNI-Protokoll basierenden Gradienten-Echo-Sequenz erstellt (176 sagittale Schichten; Voxelgröße=1x1x1mm; TR=2500 ms; TE=4.77 ms; Inversion Time=1100 ms, FoV=256x256x176, Flip-Winkel=7°; Matrixgröße=256x256; axiale 3D Sequenz).

Während des Scans wurden den Probanden 60 pseudorandomisierte Videos mit Spielszenen aus dem Spiel Super Mario 64 DS gezeigt. Diese bestanden aus viersekündigen Sequenzen mit positivem („win“) (z.B. Stern erhalten, Gegner besiegt), neutralem (z.B. laufen, Landschaft) oder negativem („loss“) (z.B. Gegner verursacht Schaden, Mario stirbt) Inhalt. Aus jeder Kategorie wurden 20 Szenen vorgeführt. Zusätzlich wurden 10 Nullevents pseudorandomisiert über die 60 Sequenzen verteilt. Die Pause zwischen den Szenen dauerte zwischen zwei und vier Sekunden, in denen ein Fixationspunkt erschien. Zu beiden Messzeitpunkten wurden die gleichen Videos verwendet.

II.5.4. Datenanalyse

Die Paradigmen wurden mit „Presentation Software“ programmiert (Version 14.9, www.neurobs.com, Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA, USA) und den Probanden über

MRT-geeignete digitale Brillen (VisuaStim) gezeigt. Für die funktionellen Paradigmen wurde ein ereignisgekoppeltes Design genutzt.

Für die fMRT-Datenanalyse wurden mittels „MRIConvert“ (University of Oregon) alle Bilder vom DICOM in das Nifti-Format konvertiert. Die Daten wurden anschließend mittels Statistical Parametric Mapping 8 (SPM 8, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK) ausgewertet. Dazu wurden die EPIs für die Schichtzeit (erstes Bild als Referenz) und für Kopfbewegungen korrigiert. Die Bilder wurden in graue und weiße Substanz und Liquorflüssigkeit aufgeteilt und in stereotaktisch normalisierte Standarddarstellungen mittels dem einheitlichen Segmentierungsalgorithmus von SPM8 transformiert. Letztlich wurden die EPIs in 3mm x 3mm x 3mm Voxel-Größe konvertiert und mit einem Glättungskernel von 7mm Breite bei halbem Maximum räumlich geglättet.

II.5.5. Statistische Analyse

Die zu untersuchende Differenz des BOLD zwischen Prä- und Posttest wurden in einem zweiphasigen „mixed-effect“ Modell untersucht.

t-Kontraste wurden durch Differenzbildung von positiven zu negativen Spielszenen (loss<win) ermittelt. Dies wurde jeweils für Zeitpunkt T1 und T2 durchgeführt. „Neutrale“ Regressoren wurden nicht in die Rechnung einbezogen.

Im zweiten Schritt wurden die *t*-Kontrastbilder mit einer 2x2 ANOVA (analysis of variance) mit den Faktoren Gruppen („between“ - Spieler vs. Kontrollgruppe) und Messzeitpunkt („within“ - T1 vs. T2) verrechnet.

Um regionäre Hirnarealveränderungen durch das Videospieldtraining zu identifizieren, wurde eine Whole-Brain-Analyse durch Monte-Carlo-Simulation basierte Cluster-Größen-Korrektur durchgeführt. Eintausend Monte Carlo Simulationen zeigten eine Alpha-Fehler Wahrscheinlichkeit von $p < 0,001$. Der zu untersuchende Kontrast war zusammengefasst die positive

Interaktion: Spielergruppe[Prätest(win>loss)>Posttest(win>loss)]>Kontrollgruppe[Prätest(win>loss)>Posttest(win>loss)] und die negative Interaktion: Spielergruppe[Prätest(loss>win)>Posttest(loss>win)]

>Kontrollgruppe[Prätest(loss>win)>Posttest(loss>win)] für Gruppe x Zeit.

Statistische Höchstwerte wurden als Messpunkte für Regions of interest (ROI) genutzt ($p < 0,001$; $K=20$; AlphaSim-Korrektion der REST toolbox (Song et al., 2011)). Es wurden 4mm Sphären um jeden Höchstwert gebildet.

II.6. Kognitive Testbatterie

Eine längere Beschäftigung mit einer Aktivität führt zu Lerneffekten von Fähigkeiten, die direkt mit dem Stimulus verwandt sind. Allerdings ist von größerem Interesse, ob diese Verbesserungen darüber hinaus auch auf Kontexte außerhalb der trainierten Tätigkeit übertragbar sind. Es soll deshalb untersucht werden, ob mit der Testbatterie für Aufmerksamkeitsprüfungen (TAP, Version 2.3, Fimm, V.) ein Transfereffekt von durch Videospiele erworbenen kognitiven Fähigkeiten nachweisbar ist.

Die TAP untersucht die verschiedenen Aspekte der Aufmerksamkeit, die aus mehreren kognitiven Teilleistungen besteht. Sie hat großen Einfluss auf die Art und Weise, wie Informationen aufgenommen und verarbeitet werden und befähigt so im Umgebungskontext sinnvoll und flexibel zu reagieren (Posner, 1990). Alle untersuchten kognitiven Fähigkeiten werden hauptsächlich im PFC prozessiert (Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014).

Aus der Gesamtheit der verfügbaren Tests der TAP-Batterie wurden im Bezug auf Videospiele relevante Aufgaben ermittelt. Diese wurden in Anlehnung an aktuelle Videospielestudien zum Thema Kognition ausgewählt (Basak et al., 2008; Boot et al., 2008; C. S. Green & Bavelier, 2012; A. C. Oei & M. D. Patterson, 2014). Die TAP-Batterie differenziert diese kognitiven Leistungen im Einzelnen durch mehrere Untertests unter standardisierten Bedingungen und Referenzwerten, die eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen Gruppen und Zeitpunkten ermöglichen. Die Tests zeichnen sich durch eine relativ niedrige Komplexität aus, um spezifisch definierte kognitive Teilfunktionen überprüfbar zu machen und Überschneidungen mit anderen Teilleistungen zu vermindern.

Die Testungen wurde auf einem handelsüblichen PC (Windows XP) unter konstanten räumlichen und zeitlichen Bedingungen durchgeführt. Ein 17-Zoll-Röhrenmonitor diente zur Anzeige der experimentellen Stimuli. Die TAP-Batterie umfasste zusätzlich zwei separate Tasten als Eingabegerät.

Vor dem jeweiligen Test wurde eine Instruktion vom Programm angezeigt und eventuell auftretende Fragen vom Personal beantwortet. Konkret bestand die Herausforderung bei den Tests darin, auf einen definierten Reiz hin schnellstmöglich eine vereinbarte Taste zu drücken. Bei Fehlern ertönte unmittelbar ein Warnton. Die Probanden beider Gruppen mussten die ausgewählten Tests im Rahmen der neuropsychologischen Testsitzung vor und nach der Spielphase unter standardisierten Bedingungen durchführen.

Für die Auswertung der Leistung wurden vom Programm automatisch zugehörige Variablen registriert und gespeichert. Je nach Test waren hierbei unterschiedliche Untersuchungsparameter, beispielsweise Reaktionszeit, Fehleranzahl etc., von Interesse (Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014). Der statistische Nachweis einer signifikanten Interaktion von Gruppe und Zeit lediglich für die Hauptvariable beweist jedoch noch keine Verbesserung der kognitiven Leistung, sondern kann unter Umständen auf unterschiedliche strategische Herangehensweisen zurückzuführen sein. Videospiele können so zu einer schnelleren Reaktionszeit auf Kosten der Genauigkeit neigen, während Nicht-Spieler eine eher vorsichtiger Herangehensweise bevorzugen (Cain, Landau, & Shimamura, 2012). Aus diesem Grund ist die Analyse derjenigen Variablen notwendig, die in Abhängigkeit zur Hauptvariable stehen. Relevante Haupt- und Nebenvariablen werden unter III.4. aufgeführt.

Im Folgenden werden die angewandten Tests erläutert und die zu testenden kognitiven Fähigkeiten beschrieben.

II.6.1. Go/NoGo – 2 aus 5

Während der Instruktion werden fünf unterschiedliche Figuren präsentiert. Nur bei Erscheinen von zwei bestimmten Figuren soll eine der Tasten so schnell wie möglich gedrückt werden. Bei den drei Übrigen soll dies unterbleiben.

Dieser Test zeigt eine primäre Funktion des PFC auf, nämlich die Kontrolle inadäquater, extern getriggelter Verhaltensimpulse und die Durchführung adäquater, intern generierter Verhaltensweisen. Für die derzeitigen Ziele unwichtigen Handlungsimpulse werden unterdrückt und die Aufmerksamkeit auf als wichtig erkannte Reize gelenkt.

Zudem wird die Effektivität der Prozessierung von Arbeitsgedächtnisleitungen überprüft, da über die gesamte Versuchszeit die Zielreize präsent gehalten und mit den visuellen Informationen abgeglichen werden müssen (Pereg, Shahar, & Meiran, 2013).

II.6.2. Flexibilität

Bei diesem Test werden dem Probanden immer gleichzeitig zwei unterschiedliche Figuren präsentiert, die links und rechts am Bildschirm erscheinen. Die Instruktion vor dem Test gibt dabei an, welches der beiden Figuren zuerst gewählt werden soll. Die Aufgabe besteht darin, je nach Lokalisation so schnell wie möglich die linke oder rechte Taste zu drücken. Beim nächsten Figurenpaar, bei dem die Figuren wieder an der gleichen Stelle stehen oder aber auch vertauscht sein können, soll dann das jeweils andere Symbol gewählt werden. So muss bei jedem Figurenpaar sowohl die richtige Figur, als auch deren Lokalisation unter Zeitdruck ermittelt werden.

Es handelt sich um eine klassische „set-shifting“-Aufgabe und testet unter anderem die mentale Flexibilität, wenn Handlungskonzepte sequentiell in kurzer Zeit hintereinander angepasst werden müssen, um Fehlhandlungen zu vermeiden (Monsell, 2003).

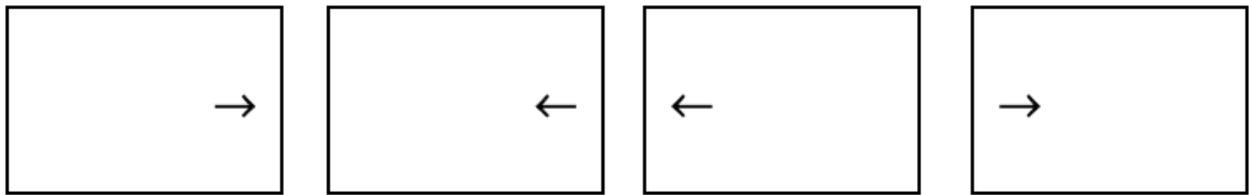
II.6.3. Geteilte Aufmerksamkeit

Bei diesem Test ist auf dem Bildschirm ein 4x4 Feld aus Punkten zu erkennen, die sich zufällig abwechselnd in Kreuze umwandeln. Wenn vier benachbarte Kreuze ein 2x2 Quadrat bilden, muss schnellstmöglich eine Taste gedrückt werden. Zeitgleich muss eine weitere Aufgabe bewältigt werden. Es ertönen abwechselnd hohe und tiefe Töne. Bei zweimaligem Ertönen des gleichen Tones ist schnellstmöglich eine Taste zu drücken.

Dies ist eine typische Multitasking-Aufgabe, bei der mehrere Reize simultan wahrgenommen, prozessiert und in Einklang gebracht werden müssen. Dies geht im Gegensatz zur Bewältigung nur einer Aufgabe in der Regel mit einer verlängerten Reaktionslatenz und höheren Fehlerrate einher.

II.6.4. Inkompatibilität

Bei diesem Test erscheint zufällig links oder rechts im Bildschirm ein Pfeil, der wiederum entweder nach links oder nach rechts zeigen kann. Unabhängig davon ob der Pfeil linksseitig oder rechtsseitig erscheint, soll schnellstmöglich die Taste gedrückt werden, die der Pfeilrichtung entspricht.



Dieser Versuch bildet eine „Reiz-Reaktionsinkompatibilität“ ab, die bei paralleler, ungewohnter Verarbeitung von Reizen entsteht und eine Interferenz von typischen Reaktionsmustern hervorruft. Konkret kommt es bei diesem Test zum Konflikt, wenn die Pfeilrichtung nicht mit der Seite des Pfeils übereinstimmt. Diese Inkongruenz führt zu einer deutlichen Steigerung der Antwortlatenz. Dies wird auch als Simon-Effekt oder räumlicher Stroop-Effekt bezeichnet (Engelhardt, Hilgard, & Bartholow, 2015; Fimm, Abrufdatum: 20.4.2015).

II.7. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS 22 durchgeführt. Mittelwertvergleiche intervallskalierter Variablen wurden mit einem t-Test für unverbundene Stichproben ermittelt. Unterschiede zwischen zwei Zeitpunkten innerhalb einer Gruppe wurden mit dem t-Test für verbundene Stichproben ermittelt. Die Varianzhomogenität wurde nach Levene und die Normalverteilung nach Shapiro-Wilks berechnet. Korrelationen zwischen Variablen wurden mit dem Korrelationstest nach Pearson berechnet. Die Auswertung der fMRT-Daten und der kognitiven Tests erfolgte mittels einer 2x2 (Gruppe x Zeit) ANOVA.

Eine statistische Signifikanz wurde bei bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% angenommen ($p < 0,05$).

III. Ergebnisse:

III.1.1. Hypothese Ia

Eine Whole-Brain-Analyse zeigte innerhalb des PFC signifikante Aktivitätsveränderungen im Bereich des Brodmannareal 10 (BA 10). Kein anderes Gebiet im PFC zeigte einen signifikanten Aktivitätsunterschied im zeitlichen Verlauf (alle p 's > 0,1).

Die Ergebnisse sind als Boxplot in Abb.3 wiedergegeben. Dargestellt ist die Aktivität im BA 10 der Spieler- und der Kontrollgruppe für den Zeitpunkt vor (T1) und nach der Spielphase (T2).

Zu T1 gab es zwischen beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied der Mittelwerte ($t(36,12)=1,84$; $p > 0,1$). Im Verlauf von T1 zu T2 gab es in der Kontrollgruppe keine signifikante Veränderung der BA10-Aktivität ($t(39)=-0,91$; $p > 0,1$). Im Gegensatz dazu kam es bei den Spielern zu einer signifikanten Verringerung der BA10-Aktivität (0,08 zu -0,3; $t(43)=4,26$; $p < 0,01$).

Es wurde eine 2x2 (Gruppe x Zeit) ANOVA durchgeführt. Hier zeigte sich eine signifikante Interaktion von Gruppenzugehörigkeit und Zeit ($F(1)=8,76$; $p < 0,01$).

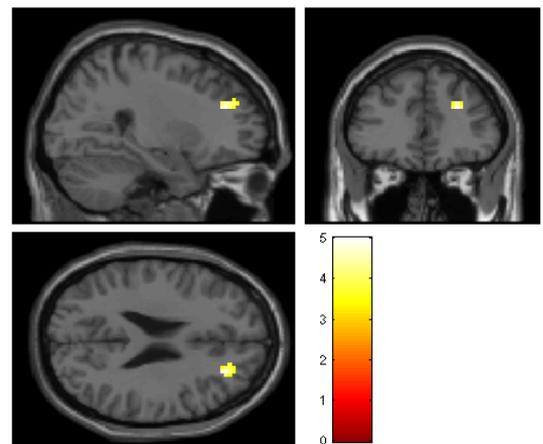


Abb. 2: BOLD-Signaldifferenz im PFC. Das dargestellte Areal entspricht dem Brodmannareal 10. Skala in arbitrary units

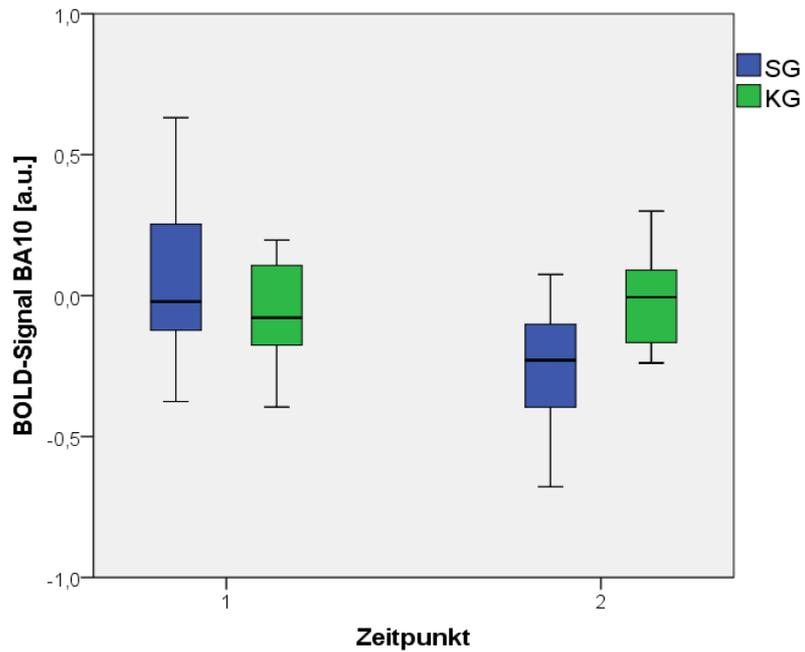


Abb. 3: BOLD-Signale des Brodmannareals 10 beider Gruppen zum Zeitpunkt 1 (präinterventionell) und 2 (postinterventionell) SG: Spielergruppe; KG: Kontrollgruppe; a.u.: arbitrary units

Die Differenz der BOLD-Signalintensität zwischen T1 und T2 ist in Abb. 4 dargestellt. Abb. 5 zeigt die absoluten Aktivitätsdifferenzen als Betrag zwischen Spieler- und Kontrollgruppe zur besseren vergleichenden Übersicht.

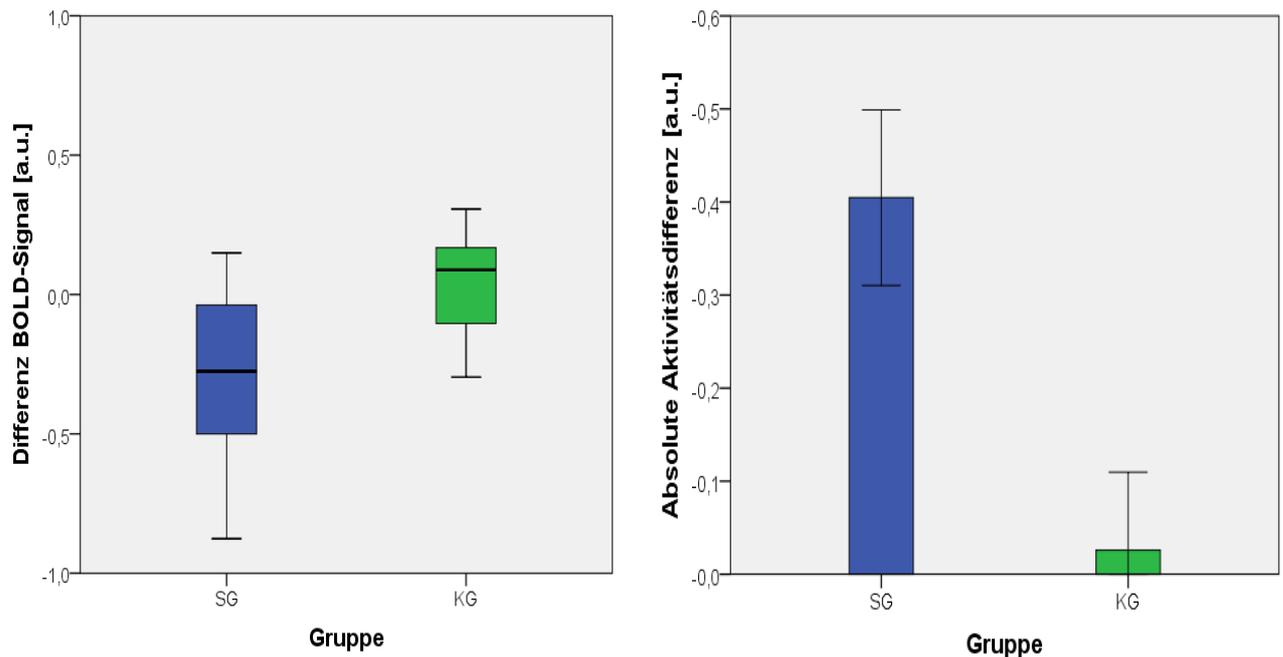


Abb. 4 und 5: Differenz der Brodmannareal-10-Aktivität zwischen T1 und T2 für Spieler- und Kontrollgruppe und Betrag der absoluten Aktivitätsveränderung

III.2. Hypothese Ib

Die Anzahl der Sterne war ein objektives Maß für die spielspezifische Performance der Probanden. In Abb. 6 ist die BA10-Aktivitätsveränderung in Abhängigkeit von der Anzahl der in der gesamten Spielzeit gesammelten Sternen dargestellt.

Durchschnittlich wurden 87 (SD=42,7) von 150 möglichen Sternen gesammelt. Der Shapiro-Wilks-Test zeigte keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung ($p > 0,05$).

Es bestand eine signifikant positive Korrelation nach Pearson zwischen der BA10-Aktivitätsveränderung und der Sternanzahl ($r=0,55$; $p < 0,01$).

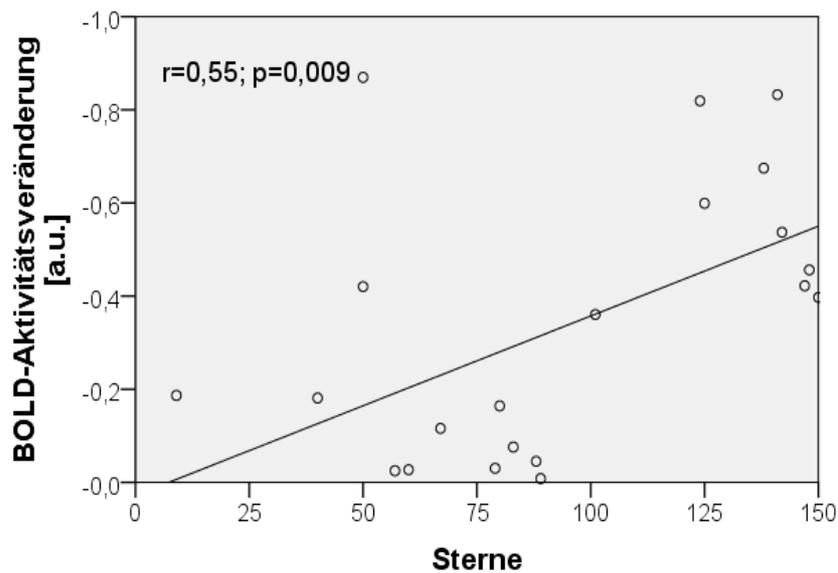


Abb. 6: Korrelation zwischen BOLD-Aktivitätsveränderung und der Sternanzahl innerhalb der Spielergruppe. a.u.: arbitrary units

III.3. Hypothese II

Innerhalb der Interventionsgruppe wurden mittels wöchentlicher Fragebögen die Parameter Spielspaß, Frustration und Verlangen erhoben. Die Werte wurden gemittelt und der BA10-Aktivitätsveränderung gegenübergestellt.

Alle Parameter zeigten im Shapiro-Wilks-Test keine signifikante Abweichung von einer Normalverteilung ($p > 0,05$).

Es zeigte sich eine signifikante positive Korrelation zwischen der BA10-Aktivitätsveränderung und dem empfundenen Spielspaß ($r = 0,55$; $p < 0,05$).

Es bestand zudem ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen der BA10-Aktivitätsveränderung und der Frustration innerhalb der Spielergruppe ($r = -0,59$, $p < 0,05$).

Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen dem Verlangen der Spieler und der BA10-Aktivitätsveränderung ($r = 0,09$; $p > 0,1$).

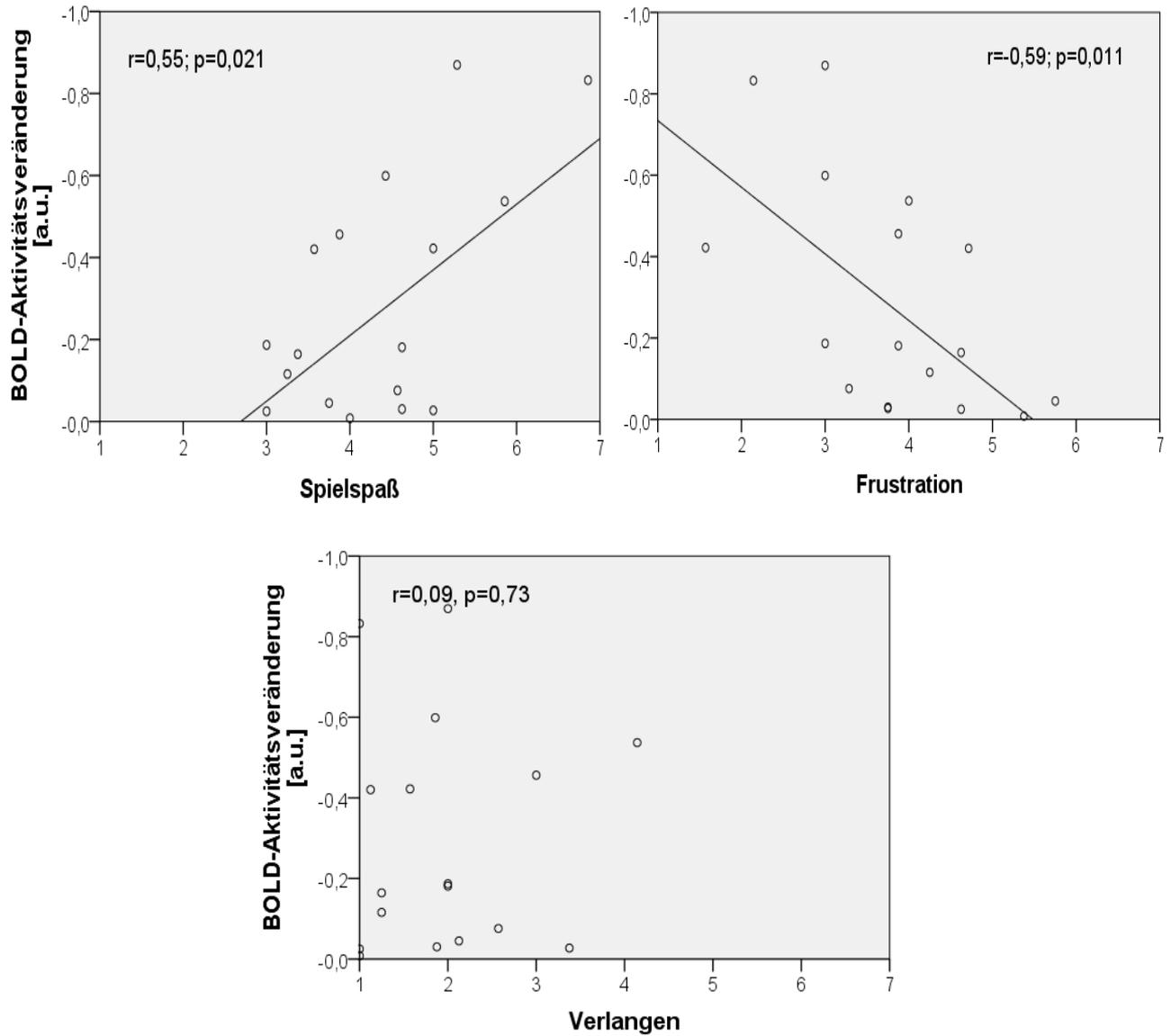


Abb. 7,8 und 9: Korrelation zwischen BOLD-Aktivitätsveränderung und Spielspaß, Frustration und dem dem Verlangen innerhalb der Spielergruppe. a.u.: arbitrary units

III.4. Hypothese III

Die TAP umfasste die Disziplinen: Flexibilität, Geteilte Aufmerksamkeit (auditiv/visuell), Go/NoGo 2 aus 5 und Inkompatibilität. Die Tests wurden von allen Probanden vor und nach der Spielphase absolviert.

Die Ergebnisse der TAP-Batterie zum Zeitpunkt T1 sind in der Tabelle 1 dargestellt. Es zeigte sich im t-Test für unabhängige Stichproben eine statistische Äquivalenz der Mittelwerte vor der Trainingsphase für alle Parameter (alle **p-Werte**>0,1).

| | Parameter | Spieler | Kontrollgruppe | p-Wert |
|--------------------------------|--------------|---------|----------------|--------|
| Go/NoGo (2 aus 5) | RZ | 534,29 | 533,37 | 0,97 |
| | Korrekte | 21,56 | 22,75 | 0,38 |
| | Fehler | 1,76 | 1,38 | 0,59 |
| | Auslassungen | 2,44 | 1,25 | 0,38 |
| Flexibilität | RZ | 706,7 | 677,4 | 0,45 |
| | Korrekte | 92,8 | 93,625 | 0,54 |
| | Fehler | 3,36 | 2,92 | 0,47 |
| Geteilte Aufmerksamkeit | RZ | 668,41 | 686,68 | 0,54 |
| | Korrekte | 15,32 | 15,58 | 0,43 |
| | Fehler | 2,64 | 2,5 | 0,91 |
| | Auslassungen | 1,8 | 1,46 | 0,43 |
| Inkompatibilität | RZ | 445,41 | 467,23 | 0,42 |
| | Korrekte | 56,72 | 58 | 0,31 |
| | Fehler | 3,24 | 1,87 | 0,28 |
| | Auslassungen | 0,04 | 0,13 | 0,33 |

Tabelle 1: Gruppenvergleich der durchschnittlichen Werte der kognitiven Tests zu T1. Keine der dargestellten Werte zeigt im t-Test für unverbundene Stichproben einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen vor der Interventionsphase. RZ=Reaktionszeit (ms)

Mittels 2x2 (Gruppe x Zeit) ANOVA wurden Interaktionen von Zeit und Gruppe für alle durchgeführten Untersuchungen überprüft. Der Varianzhomogenitätstest nach Levene ergab keine signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich der Varianz der Variablen (alle p-Werte>0,05). Die Hauptvariablen wurden zur besser Übersicht als Diagramme dargestellt.

Go/NoGo 2 aus 5

Im Go/NoGo-Test war die Fehlerrate von besonderem Interesse (Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014). Die 2x2 ANOVA zeigte eine signifikante zeitliche Verbesserung ($F(47)=9,16$; $p=0,004$), allerdings keine Interaktion mit der Gruppenzugehörigkeit ($F(47)=0,15$; $p=0,7$).

Um Unterschiede in der Strategie der Probanden aufzudecken, wurde zudem als Interaktion von Zeit und Gruppe die mittlere Reaktionszeit ($F(1)=0,24$; $p=0,88$), Anzahl der Korrekten ($F(1)=1,95$; $p=0,66$) und Auslassungen ($F(1)=0,2$; $p=0,66$) untersucht. Es zeigten sich hier keine signifikanten Ergebnisse.

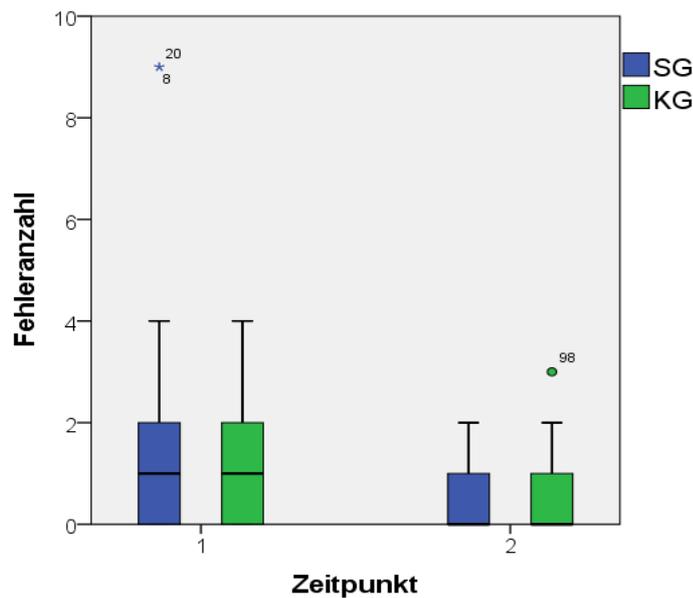


Abbildung 10: Go/NoGo - Fehleranzahl. SG=Spielergruppe, KG=Kontrollgruppe

Flexibilität

Die Hauptvariablen der Flexibilitätsaufgabe waren die Differenz der mittleren Reaktionszeit von Versuchen mit Handwechsel zu Nicht-Handwechsel („Wechsel-Kosten“) (Monsell, 2003; Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014) und die Standardabweichung der Reaktionszeit (Unsworth et al., 2015).

T-Tests zeigten signifikant höhere Reaktionszeiten für Aufgaben mit Handwechsel im Vergleich zu Nicht-Handwechsel, sowohl vor der Interventionsphase ($t(50)=3,04$; $p=0,004$; M_{Wechsel}

(SD)=696,5ms (188,81); $M_{\text{keinWechsel}}=663,5$ ms (200,64)), als auch danach ($t(48)=3,51$; $p=0,001$; M_{Wechsel} (SD)=639,57ms (171,99); $M_{\text{keinWechsel}}=606,7$ ms (133,83)).

Bezüglich der Wechsel-Kosten zeigte die ANOVA keine Signifikanz bezüglich des zeitlichen Einflusses ($F(1)=0,001$; $p=0,98$) und der Interaktion von Zeit x Gruppe ($F(1)=1,7$; $p=0,2$). Die Standardabweichung der Reaktionszeit zeigte eine signifikante zeitliche Verringerung ($F(1)=6,34$; $p=0,02$), allerdings keinen Einfluss der Gruppenzugehörigkeit ($F(1)=0,06$; $p=0,94$). Zudem wurden als Interaktion von Zeit und Gruppe die Korrekten ($F(1)=0,24$; $p=0,63$) und Fehler ($F(1)=0,28$; $p=0,6$) als Nebenvariablen ermittelt. Es zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse.

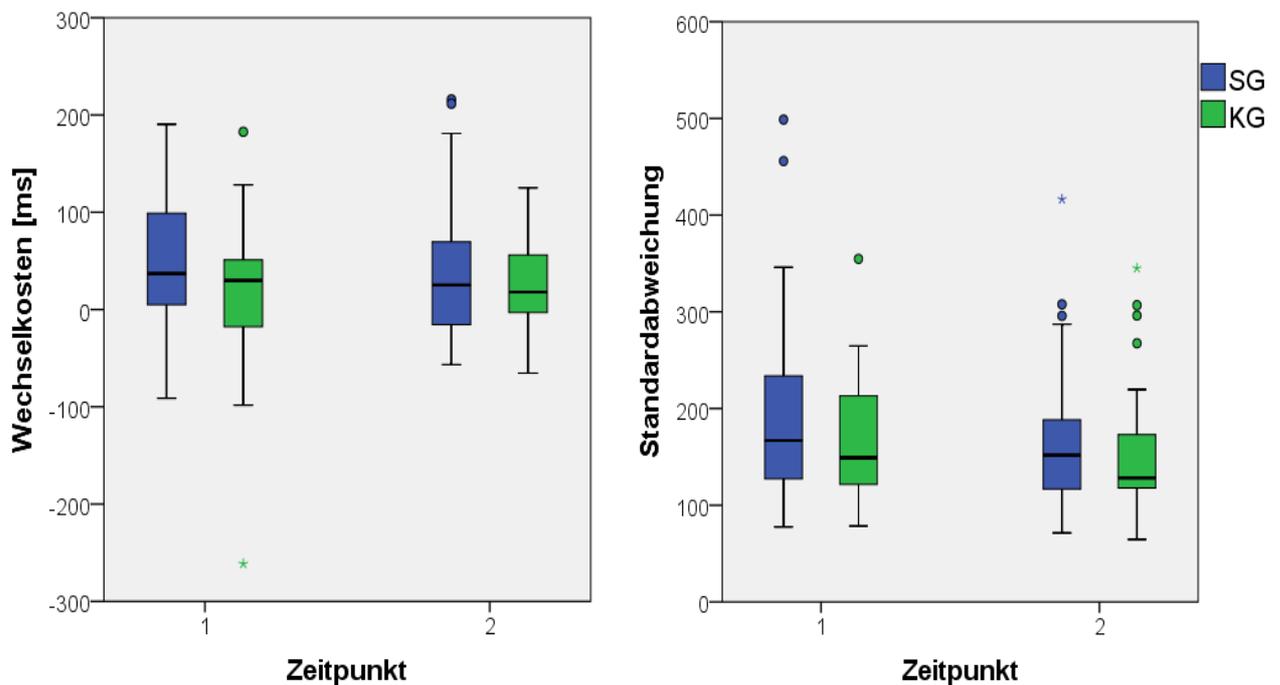


Abbildung 11 und 12: Flexibilität - Wechsel-Kosten als Differenz aus Versuchen mit Handwechsel zu Versuchen ohne Handwechsel in ms und Standardabweichung der Reaktionszeit

Geteilte Aufmerksamkeit

Für die geteilte Aufmerksamkeit definierte Strobach (2012) die mittlere Reaktionszeit und die Fehlerrate als wichtige Variablen.

Die Reaktionszeit ($F(1)=0,21$; $p=0,65$) und Fehler ($F(1)=0,98$; $p=0,33$) zeigten keine signifikante Zeit x Gruppen-Interaktion.

Die von uns als Nebenvariablen festgelegten Parameter Korrekte ($F(1)=0,02$; $p=0,9$) und Auslassungen ($F(1)=0,26$; $p=0,87$) waren ebenfalls nicht signifikant.

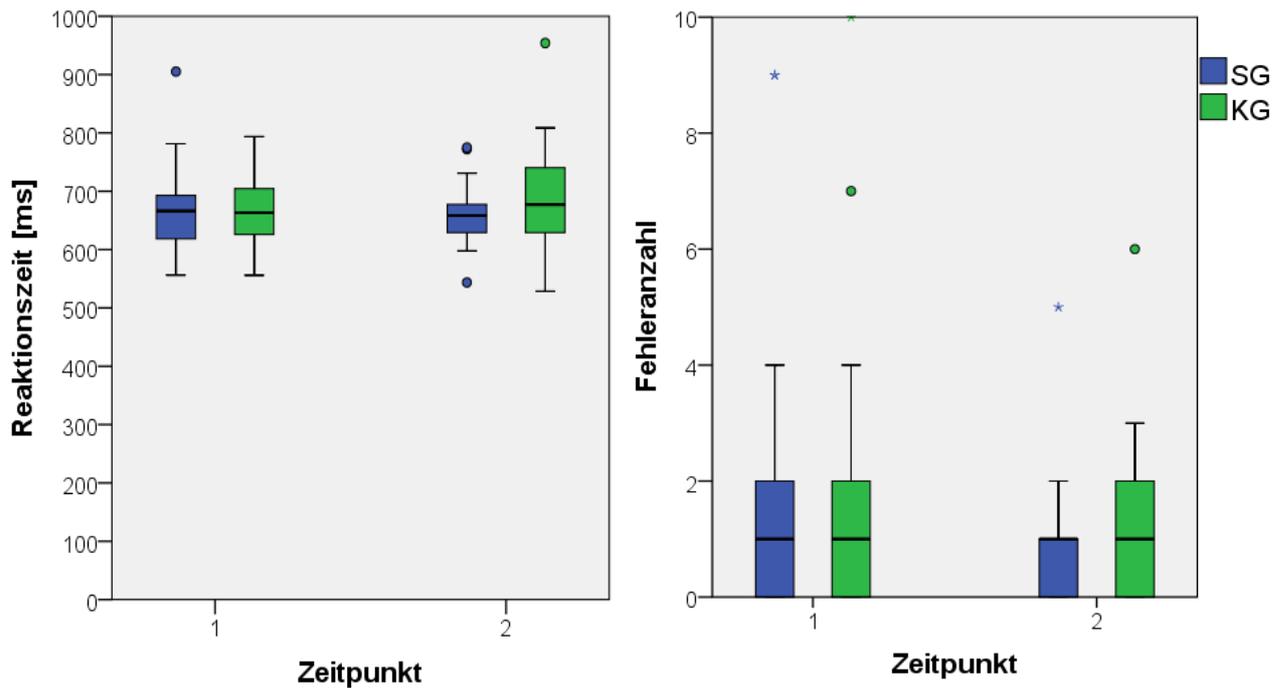


Abbildung 13 und 14: Geteilte Aufmerksamkeit – Reaktionszeit in ms und Fehleranzahl

Inkompatibilität

Für die Inkompatibilitätsaufgabe war die Differenz der Reaktionszeit zwischen kongruenten und nicht kongruenten Versuchen die zu untersuchende Variable (Unsworth et al., 2015). Zuerst wurden mittels t-Tests Unterschiede zwischen kongruenten und inkongruenten Versuchen untersucht. Sowohl vor ($t(49)=-5,74$; $p>0,001$; $M_{\text{kongruent}} (SD)=439,6\text{ms} (82,8)$, $M_{\text{inkongruent}} (SD)=478,6\text{ms} (98,7)$) als auch nach der Trainingsphase ($t(47)=-6,23$; $p<0,001$; $M_{\text{kongruent}} (SD)=440,4\text{ms} (88,7)$, $M_{\text{inkongruent}} (SD)=482,7\text{ms} (113,2)$) zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen Kongruenz und Inkongruenz, so dass vom Vorhandensein eines Simon-Effektes (s. II.7.) ausgegangen werden konnte.

Die 2x2 ANOVA der Differenz der Reaktionszeiten zeigte allerdings keinen zeitlichen Einfluss ($F(1)=0,03$; $p=0,86$) und keine Interaktion von Zeit und Gruppe ($F(1)=0,23$; $p=0,63$).

Auch die Nebenvariablen Korrekte ($F(1)=0,13$; $p=0,91$), Fehler ($F(1)=0,01$; $p=0,92$) und Auslassungen ($F(1)=0,2$; $p=0,66$) zeigten keine Zeit x Gruppen-Interaktion.

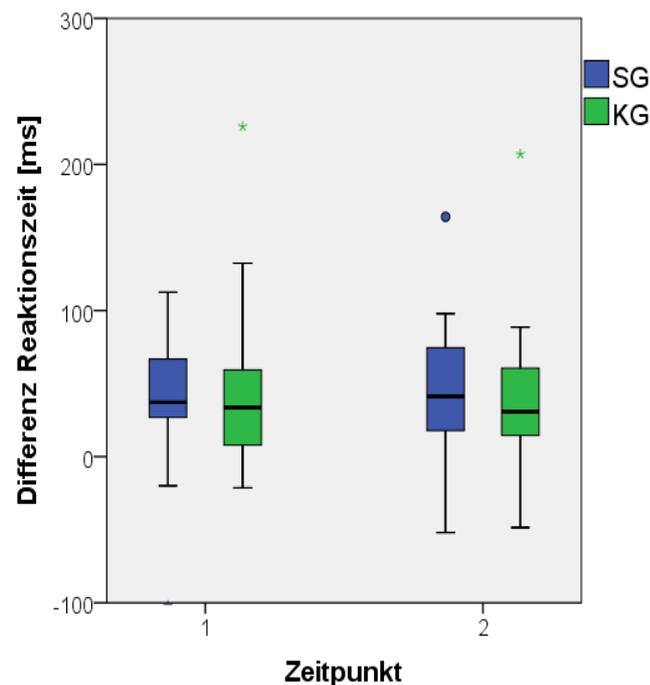


Abbildung 15: Inkompatibilität - Differenz der Reaktionszeit von kongruenten und inkongruenten Versuchen in ms

IV. Diskussion:

IV.1. Hypothese I: Veränderung der Hirnaktivität in Gebieten des präfrontalen Kortex und Korrelation mit der Spielleistung

Die funktionellen Aktivitäten in Regionen des PFC zeigten in der Spielergruppe einen signifikanten Abfall der Aktivität im Brodmannareal 10. Eine 2x2 ANOVA zeigte eine signifikante Interaktion von Gruppenzugehörigkeit und Zeit. In anderen Arealen des PFC kam es zu keinen signifikanten Veränderungen.

Die Aktivitätsverminderung stand innerhalb der Spielergruppe im Zusammenhang mit einer signifikant besseren Spielperformance.

Die Hypothesen Ia und Ib können somit bestätigt werden.

IV.1.1. Funktion und Anatomie des Brodmannareals 10

Das Brodmannareal 10 entspricht anatomisch dem frontopolen oder anterioren präfrontalen Kortex (aPFC) (Knowlton, Morrison, Hummel, & Holyoak, 2012; Shallice & Owen, 2004; Tsujimoto, Genovesio, & Wise, 2011)). Dieser Gehirnbereich ist einer der am wenigsten verstandenen des menschlichen Gehirns (Ramnani & Owen, 2004). Dies liegt unter anderem daran, dass der aPFC in viele verschiedene kognitive Prozesse involviert ist. Eine Aufgabenspezifität lässt sich schwer definieren. Allerdings konnten aufgrund der Beobachtung von Patienten mit Hirnschädigungen im entsprechenden Hirnareal und moderner Bildgebung indirekt Rückschlüsse auf die Funktion des BA10 gezogen werden.

Das in Relation zum restlichen Gehirn

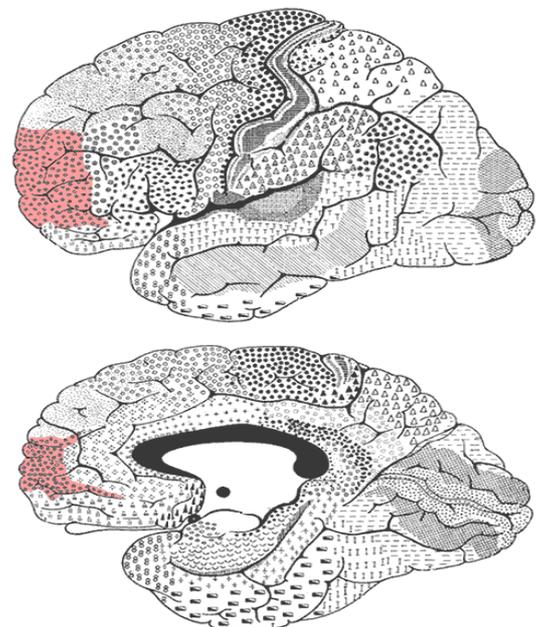


Abb. 16: Anatomische Lokalisation des Brodmannareals 10 (rot) von lateral und im Medianschnitt (Desbrosses, 2013)

überproportionales Größenwachstum des BA10 im Laufe der Evolution deutet auf eine für menschliches Verhalten definierende Bedeutung hin. Während bei Nicht-Menschenaffen dieses Hirnareal vollkommen zu fehlen scheint, (Preuss & Goldman-Rakic, 1991) sind es beim Menschen schon 1,2% und ist somit das größte Areal im humanoiden PFC (Tsujimoto et al., 2011).

Die Informationsverarbeitung im Gehirn ist in der Regel in rostrokaudaler Richtung hierarchisch aufgebaut, wobei primäre kortikale Areale Signale an höhere Ebenen weiterleiten, die jeweils eine immer stärkere Abstraktion repräsentieren. Auf höchster Ebene jeder Informationsverarbeitung steht ein supramodales Areal, das die Information in den internen und externen Gesamtzusammenhang einordnet (Shallice & Owen, 2004).

Der aPFC ist als hierarchisch höchstes Areal über reziproke Verbindungen mit den supramodalen Arealen im restlichen PFC, anterioren temporalen und cingulären Kortex verbunden und kommuniziert über diese Zentren indirekt mit dem restlichen Gehirn (Tsujimoto et al., 2011). Aus dieser besonderen neuronalen Vernetzung folgern Ramnani und Owen (2004), dass der aPFC besonders bei Aufgaben aktiv ist, die aufgrund ihrer Komplexität Leistungen aus mehreren kognitiven Domänen gleichzeitig benötigen. Im Sinne des angestrebten Ziels werden die kognitiven Informationen aus anderen Hirnbereichen im BA10 koordiniert und miteinander kombiniert. Hierbei muss die Aufmerksamkeit auf verschiedene, gleichzeitig ablaufende Prozesse fokussiert werden, was als „cognitive branching“ bezeichnet wird. Die abstrahierten Informationen der verschiedenen supramodalen Zentren dienen als Input für den aPFC, um die Verarbeitung sensorischer Informationen und kognitiver Prozesse in einer flexiblen Umwelt zu ermöglichen und übergeordnete Ziele bzw. Zwischenziele zu generieren (Shallice & Owen, 2004; Tsujimoto et al., 2011). Die Generierung von Plänen geschieht im aPFC im Besonderen unabhängig von der einfachen Auswahl fertig vorgegebener Handlungsoptionen, aus denen nur gewählt werden darf (Tsujimoto et al., 2011). Stattdessen werden Informationen aus mehreren externen Quellen bezogen und auf deren Grundlage intern Lösungsansätze entwickelt (Bahlmann et al., 2015). Im Besonderen ist der aPFC beim Erkunden und Entwickeln vollkommen neuer Alternativmöglichkeiten aktiv (Daw, O'Doherty, Dayan, Seymour, & Dolan, 2006).

Die möglichen Handlungen werden auf Basis einer ergebnisorientierten Abwägung bewertet, um die erfolgversprechendsten Optionen zu selektieren (Tsujimoto et al., 2011). Ist eine Handlung erfolgreich vollzogen, reagiert das BA10 auf darauf folgende Belohnungsreize (Tsujimoto, Genovesio, & Wise, 2010).

IV.1.2. Hypothese Ia und Ib

Das Abfallen der Aktivität im Brodmannareal 10 in unserer Studie deutet darauf hin, dass im Rahmen der zweimonatigen Spielphase Lernprozesse stattgefunden haben. Ein Aktivitätsabfall scheint hier zuerst widersinnig, erklärt sich jedoch vor dem Hintergrund lerntheoretischer Überlegungen, sowie funktioneller Untersuchungen des PFC bei Lernprozessen.

Bezüglich des Trainings kognitiver Fähigkeiten wird schon seit längerem ein stadienhafter Verlauf vermutet, der sich generell auf die „Phasen 1) kontrollierte Verarbeitung 2) kontrollierte und automatische Verarbeitung und 3) automatische Verarbeitung“ (Ackerman, 1988; Schneider, 1977) zusammenfassen lässt. Konkret ist zu Beginn des Lernprozesses einer bisher unbekanntem Aufgabe ein hohes Maß an kognitiver Kontrolle und Aufmerksamkeit erforderlich, da Prozessabläufe und Strategien erst erforscht und erprobt werden müssen. Deshalb ist die Fehlerrate hoch und die Prozessgeschwindigkeit langsam. In der zweiten Phase sind die erforderlichen Strategien weitestgehend etabliert und es kommt zu einer kontinuierlichen Verstärkung neuronaler Verbindungen und Reiz-Reaktionsmodellen. Im letzten Stadium laufen die erforderlichen Prozesse weitestgehend autonom, fehlerfrei und mit hoher Geschwindigkeit ab, selbst wenn die Aufmerksamkeit auf andere Abläufe gerichtet wird. Es kommt zur Ausbildung von Schemata, die eine geordnete Abfolge von unterschiedlichen, simultan ablaufenden kognitiven und motorischen Prozessen ermöglichen (Gopher, Weil, & Siegel, 1989). Das Brodmannareal 10, als Knotenpunkt supramodaler Zentren, dient hierfür als neuronales Korrelat (Koechlin, Basso, Pietrini, Panzer, & Grafman, 1999).

Das Voranschreiten des Lernprozesses ist kontinuierlich, allerdings bedingen die Komplexität der Aufgabe, sowie kognitive Voraussetzungen (Intelligenz, Aufmerksamkeit, visuomotorische Fähigkeiten) der Probanden die Dauer und Effektivität des Lernprozesses bis zur autonomen Phase, was interindividuelle Unterschiede im zeitlichen Verlauf erklärt (Ackerman, 1988; Fisk & Schneider, 1983).

Die Spieler in unserer Studie haben im Rahmen der zweimonatigen Trainingsphase einen weitestgehenden Automatisierungsprozess bezüglich der trainierten Aufgabe erfahren, wodurch geringere Hirnaktivität im involvierten Areal erforderlich ist. Die Prozesse, die anfangs bewusst durchgeführt werden mussten und somit vermehrt kognitive Ressourcen verbrauchten, wurden im Laufe des Trainings durch stetige Wiederholung automatisiert und benötigten somit weniger Kapazität. Spieler, die ihre Aktionen nicht permanent überwachen mussten, konnten ihre Aufmerksamkeit so auf andere Prozesse richten und in der Folge bessere Spielleistungen

erbringen.

Diese These deckt sich mit den Angaben der Probanden aus den wöchentlichen Fragebögen bezüglich der genauen Charakterisierung von Frustmomenten. In der Anfangszeit der Spielphase berichteten viele Spieler über Probleme mit dem anspruchsvollen Schwierigkeitsgrad. Die Auswertung zeigte dabei die Ursache häufig in der Überforderung, mehrere, bisher ungewohnte Handlungsabläufe (Charaktersteuerung, Kamerasteuerung, Navigation, Feinde beobachten etc.) gleichzeitig zu beachten und auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren. Die Probanden gaben im zeitlichen Verlauf hiermit deutlich weniger Probleme an.

Auch die in unserer Studie ermittelte Spielperformance stützt diese Theorie. Es zeigte sich, dass innerhalb der Spielergruppe die BA10-Aktivitätsverminderung mit einer besseren Leistung einherging. Erfolgreiche Spieler hatten wahrscheinlich einen effektiveren Lernprozess durchgemacht und deshalb stärkere Aktivitätsverringernungen im BA10, wodurch sie bessere Ergebnisse erbringen konnten.

Matsuda et al. (2004) beobachteten ebenfalls eine Verringerung der Aktivität des PFC bei Ihren Probanden bei einem Videospiel im Rahmen einer Nahinfrarotspektroskopie.

Eine Trainingsstudie mit einem Rätsel-Videospiel zeigte unter anderem eine höhere Konzentration an grauer Substanz im BA10 als Anpassungsreaktion auf länger einwirkende kognitive Herausforderungen (Colom et al., 2012).

Lee et al. (2012) kamen in einer fMRT-Studie zu einem ähnlichen Schluss. Es konnte durch die Benutzung des Spiels „Space Fortress“ eine Verminderung der Aktivität insbesondere des dorsolateralen PFC, des superioren frontalen Gyrus und ebenfalls des frontalen Pols in der Interventionsgruppe nachgewiesen werden. Die Ergebnisse wurden ebenfalls als durch Training verminderte kognitive „Kosten“ durch neuronale Effizienzsteigerung gewertet.

Ein anderer Erklärungsansatz für die BA10-Aktivitätsverminderung lässt sich aus der Theorie ableiten, dass eine verminderte präfrontale Aktivität direkt mit gewalttätigem Verhalten in Zusammenhang steht (Mathews et al., 2005; Raine et al., 1998). Zusätzlich wird seit Jahren die Beziehung von Videospielen zu Aggressivität kontrovers diskutiert (C. A. Anderson & Dill, 2000; C. A. Anderson et al., 2010; Greitemeyer & Mugge, 2014). Allerdings wurde diese Theorie in einer Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie (SPECT)-Studie (Chou et al., 2013) entkräftet, die die Hirnaktivität bei einem explizit gewalthaltigen (Dynasty-Warrior) und nicht-gewalthaltigen Spiel (Super Mario 64) verglich. Bei beiden Spielen kam es zu einer gleichartigen

verminderten Durchblutung des PFC, unter anderem im Brodmannareal 10, während nur beim gewalthaltigen Spiel Veränderungen im anterioren zingulären Kortex (ACC) sichtbar waren und diese zudem mit dem Gewaltgrad korrelierte. Der Autor hielt einen Zusammenhang zwischen einer von Videospielen induzierten Aktivitätsverminderung im PFC und aggressivem Verhalten vor diesem Hintergrund für unwahrscheinlich, sondern postulierte stattdessen am ehesten einen Zusammenhang zur veränderten ACC-Aktivität. Die Veränderungen im BA 10 entstanden am wahrscheinlichsten aufgrund der kognitiven Anforderungen der Spiele.

Der PFC scheint auch eine Rolle bei Suchterscheinungen zu spielen. Die Bilder eines Videospieles erzeugten bei Probanden mit starkem Verlangen nach Videospielen in einer fMRT ein Aktivitätsmuster, das denen bei Substanzabhängigkeit ähnelte (Han, Kim, Lee, Min, & Renshaw, 2010; Ko et al., 2013). Auch substanzungebundene Abhängigkeiten wie pathologisches Glücksspielen haben im Sinne einer Aktivitätssteigerung ein neuronales Korrelat im PFC (Crockford, Goodyear, Edwards, Quickfall, & el-Guebaly, 2005). Allerdings scheint dies für unsere Ergebnisse keine Rolle zu spielen, da in der Studie von Han et al. (2010) eher eine Steigerung der Aktivität nach der Interventionsphase registriert wurde. Zudem konnten wir bei unseren Probanden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem angegebenen Verlangen und der Aktivitätsveränderung feststellen.

IV.2. Hypothese II: Korrelation der BA10-Aktivitätsveränderung mit dem Spielspaß

Die Ergebnisse zeigten eine signifikante positive Korrelation zwischen der absoluten Aktivitätsveränderung im Brodmannareal 10 und dem empfundenen Spielspaß, sowie eine negative Korrelation mit der Frustration innerhalb der Spielergruppe.

Die Hypothese II ist somit bestätigt.

Es ergibt sich zuerst die Frage, wie der Zusammenhang zwischen neuronalen Veränderungen mit subjektiven Empfindungen physiologisch charakterisiert ist.

Der Zusammenhang zwischen positiven Emotionen und dem PFC ist seit längerem bekannt (Ashby et al., 1999; Berridge & Robinson, 1998; Cools & D'Esposito, 2011; Jay, 2003). Die

Verbindung beider Systeme wird durch den Neurotransmitter Dopamin hergestellt. Von Interesse ist dabei das nigrostriatale und mesokortikale System, das von der Area tegmentalis anterior zum PFC verläuft und dort unter anderem die neuronale Plastizität beeinflusst (Lewis, Dove, Robbins, Barker, & Owen, 2003). Der Mechanismus wurde hier genauer bei Ratten untersucht, bei denen sowohl zu hohe, als auch zu niedrige Dopaminkonzentrationen im PFC zu einer Inhibierung von Langzeitpotentialen führten. Mittlere Dopaminkonzentrationen im PFC führten hingegen zu einer verstärkten Langzeitpotenzierung, was langfristige Lerneffekte zur Folge hatte (Cools & D'Esposito, 2011; Goto, Yang, & Otani, 2010). Langzeitpotentiale erhöhen die Übertragung zwischen zwei Synapsen und sind ein Mechanismus der neuronalen Plastizität.

Krankheiten wie Morbus Parkinson, die zu einer pathologisch verringerten Dopaminkonzentration im PFC führen, zeichnen sich schon zu Krankheitsbeginn durch schlechtere Leistungen der Arbeitsgedächtnis- und exekutiven Funktion aus (Diamond, 1996; Mattay et al., 2002; Woodward, Bub, & Hunter, 2002). Funktionelle MRT-Untersuchungen zeigten bei diesen Patienten veränderte Aktivitätsmuster im PFC und Striatum, die mit dem Grad der kognitiven Einschränkung zusammenhingen (Lewis et al., 2003). Deutliche Verbesserungen der Kognition konnte bei betroffenen Patienten nach L-DOPA-Gaben erreicht werden (Lange et al., 1992).

Der Rückschluss auf die vorrangige Rolle von Dopamin auf kognitive Prozesse konnte zudem durch die Beobachtung von mit 1-Methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridin (MPTP) versehentlich intoxikierten Patienten erbracht werden. Durch die isolierte Zerstörung dopaminergischer Zellen kam es zu Parkinsonismus und schwerwiegenden Störungen der kognitiven Funktionen (Stern, Tetrad, Martin, Kutner, & Langston, 1990).

Die Freisetzung von Dopamin wird insbesondere durch Ereignisse ausgelöst, die eine Belohnung oder eine zu erwartende Belohnung darstellen (Ashby et al., 1999; Schultz, 1997; Schultz, Apicella, & Ljungberg, 1993). In der Studie von Bahlmann et al. (2015) wurde der Einfluss von Motivation auf kognitive Prozesse untersucht. Hier konnte in rostralen Bereichen des PFC gezeigt werden, dass hohe Motivation die Bandbreite ablaufender kognitiver Prozesse erweitert. Der Zusammenhang zum Dopaminsystem wurde ebenfalls als Erklärungsmodell verwendet. Passend dazu zeigte Wittmann et al. (2008) wie ein Belohnungsreiz in einem emotional positiven Zustand zu besseren Lerneffekten führte. Des Weiteren bewies Ashby et al. (1999) eine bessere kognitive Flexibilität seiner Probanden in einer positiven Stimmungslage, was ebenfalls durch eine erhöhte Dopaminausschüttung erklärt wurde.

Eine Meta-Analyse zeigte eine regelmäßige Involvierung des BA10 bei der Prozessierung von emotionalen Zuständen, die in Zusammenhang mit kognitiven Anforderungen standen (Phan et al., 2002). Die Rolle des BA10 scheint dabei die Verarbeitung der kognitiven Aspekte von Emotionen (Erkennen und Bewerten des emotionalen Zustands; Lenkung der Aufmerksamkeit auf diesen; emotionale Entscheidungsfindung) zu sein (Drevets & Raichle, 1998).

Belohnungsreize sind ein elementarer Baustein von Videospiele. Es konnte in einer Racloprid-PET-Studie bestätigt werden, dass es zu einer vermehrten Freisetzung von Dopamin bei der Nutzung von Videospiele kommt (Koepp et al., 1998). Hier zeigte sich zudem eine positive Korrelation mit der Spieleleistung.

Es liegt somit nahe, dass in unserer Studie jene Spieler mit mehr Spaß und Motivation am Spiel durch die dadurch ausgelöste Dopaminausschüttung eine stärkere Veränderung der Aktivität im Brodmannareal 10 erfahren haben.

Der von uns betrachtete Parameter Frustration kann neurophysiologisch nicht einfach als bloßes Gegenteil einer positiven Stimmungslage gesehen werden (Ashby et al., 1999). Das Korrelat für eine negative Stimmungslage ist nämlich weniger das Dopamin-, als viel mehr das Serotoninsystem im Gehirn (Ashby et al., 1999). Sowohl Personen mit schädlichen genetischen Variationen im Serotoninsystem, als auch die pharmakologische Verminderung von Serotonin haben eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine reduzierte Stimmung (Ham et al., 2004; Neumeister, 2003). Als Folge dieser unter anderem im PFC verringerten Serotoninkonzentration kommt es zu einer Beeinträchtigung der exekutiven Funktion, Aufmerksamkeit, Inhibition und Entscheidungsfindung (Arango, Underwood, & Mann, 2002; Mitchell & Phillips, 2007). Allerdings können beide Neurotransmittersysteme nicht isoliert voneinander gesehen werden, da enge, noch nicht genau verstandene Interaktionen im PFC bestehen (Harrison et al., 2004).

Eine verringerte Serotoninkonzentration könnte bei unseren Probanden mit einem hohen Grad an Frustration zu einer Beeinträchtigung von kognitiven Lernprozessen während des Spiels beigetragen haben.

IV.2.1. Hypothese III: Leistungsverbesserung der kognitiven Fähigkeiten

Ausgewählte Tests der TAP-Batterie (Flexibilität, Geteilte Aufmerksamkeit (auditiv/visuell), Go/NoGo 2 aus 5, Inkompatibilität) wurden von allen Probanden vor und nach der Spielphase durchgeführt. Die kognitive Leistung unterschied sich im t-Test für unverbundene Stichproben in beiden Gruppen vor der Trainingsphase in keiner der getesteten Hauptvariablen signifikant voneinander. Eine 2x2 ANOVA zeigte sowohl alle für Haupt- als auch Nebenvariablen keine signifikanten Interaktion von Zeit und Gruppe. Effekte, die nur einen zeitlich signifikanten Zusammenhang zeigen (SD – Flexibilität, Fehler – Go/NoGo), sind am wahrscheinlichsten von Videospiele unabhängige Lerneffekte durch die Wiederholung der Tests, die zu besseren Ergebnissen zum zweiten Messzeitpunkt geführt haben.

Ein unmittelbar durch Videospiele erzeugter Trainingseffekt kann somit nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Die Hypothese III muss somit im Sinne der Nullhypothese gewertet werden.

Unsere Ergebnisse scheinen somit dem eingangs vorgestellten positiven Einfluss von Videospiele auf kognitive Fähigkeiten zu widersprechen. Insbesondere Green et al. (C. Shawn Green & Bavelier, 2003; 2006) wies wiederholt bessere kognitive Leistungen durch Videospielekonsum sowohl in Querschnitt- als auch in Trainingsstudien nach.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen neuropsychologischen Tests vor diesem Hintergrund diskutiert und in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet. Anschließend wird auf die allgemeine Problematik der Darstellung von Transfereffekten durch Videospieletraining eingegangen.

Go/NoGo:

Die Hauptvariable Fehler war bezüglich der Interaktion von Gruppe und Zeit nicht signifikant.

Der Vergleich von Videospieleerfahrenen und Nicht-Videospielern bei Go/NoGo-Aufgaben in anderen Studie zeigte divergierende Ergebnisse.

So zeigten Videospiele in Querschnittstudien geringere Fehlerraten im Gegensatz zu Nicht-Spielern (Dye et al., 2009), während hingegen Colzato et al. (2013) keinen Unterschied feststellen konnte.

Auch eine Trainingsstudie mit verschiedenen Spielegenres (Action, Strategie, Arcade) zeigte

keine signifikant verringerten Fehlreaktionen. Nur ein Puzzle-Spiel (Cut the Rope) zeigte diesen Effekt, ohne dass es dabei zu einer verlängerten Reaktionszeit kam (Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014). Das Spiel führte zudem zu einer kürzeren Reaktionszeit im Flexibilitätstest, ohne dass die Fehleranzahl anstieg.

Littel et al. (2012) hingegen beschrieb bei exzessiven Spielern sogar eine schlechtere Leistung in Go/NoGo-Tasks. Er erklärte dies durch ineffektive Prozessierung von Fehlern und höherer Impulsivität, was zu einer mangelnden Inhibierung der Fehlreize in der Untersuchung führte.

Flexibilität:

Die Wechsel-Kosten und die Standardabweichung waren in der durchgeführten 2x2 ANOVA nicht signifikant.

Flexibilität und auch Multitasking wurden bisher vor allen Dingen im Kontext von Action-Videogames (AVG) untersucht, da der Spielablauf hier im Wesentlichen darauf aufbaut, schnellstmöglich die Aufmerksamkeit zwischen mehreren Zielen zu wechseln oder mehrere Ziele gleichzeitig im Auge zu behalten. Regelmäßige AVG-Spieler zeigten in Querschnittstudien hierbei bessere Ergebnisse gegenüber Nichtspielern (C. S. Green & Bavelier, 2012; Strobach, Frensch, & Schubert, 2012). Auch Nicht-Actionspiele trugen zur besseren Leistung in Flexibilitätsaufgaben bei (Andrews, 2006; Cain et al., 2012). Colzato et al. (2010) berichtete über eine kürzere Reaktionszeit von videospielderfahrenen Probanden, allerdings zeigten diese eine doppelt so große Fehlerfrequenz. Dies deutet weniger auf bessere kognitive Fähigkeiten hin, sondern eher auf unterschiedliche Strategien der Untersuchungsgruppen; konkret verfolgten Nicht-Videospieler wahrscheinlich eine eher vorsichtigere Herangehensweise als Spieler, ein Umstand, der in anderen Studien bisher nur selten beachtet wurde (Boot, Blakely, & Simons, 2011; Cain et al., 2012). Auch viele anderen Studien erhoben oft nur den Parameter Reaktionszeit, so dass Effekte nicht berücksichtigt werden, die lediglich durch unterschiedliche Verhaltensmuster der Untersuchungsgruppen entstanden sind.

Die Trainingseffekte für prospektive Studien sind weniger eindeutig, zumal diese weniger häufig durchgeführt wurden. Green et al. (2012), Strobach et al. (2012) sowie Basak et al. (2008) konnten im Rahmen ihrer Trainingsstudien nach 50, 15 und 23,5 Stunden einen Trainingseffekt der Flexibilität nachweisen.

Im Gegensatz hierzu zeigte sich bei Boot et al. (2008) nach über 20-stündigem

Videospieltraining mit sowohl AVG als auch Strategiespielen keine Verbesserung der Flexibilität und auch sonst keiner getesteten kognitiven Fähigkeit.

Geteilte Aufmerksamkeit:

Es bestand keine signifikante Interaktion von Gruppe und Zeit für die Hauptvariablen Reaktionszeit und Fehler.

Für einen generellen Effekt von Videospielen auf die geteilte Aufmerksamkeit spricht eine von Strobach et al. (2012) durchgeführte Studie, in der 15-stündiges Training mit einem komplexen AVG (Medal of Honor) mit einem simplen Puzzle-Spiel (Tetris) verglichen wurde. Es zeigte sich eine Verbesserung der kognitiven Leistungen ausschließlich in dem AVG. Colzato et al. (2010) kam hier zu einem ähnlichen Ergebnis.

Allerdings zeigten kürzlich durchgeführte Studien (Donohue, James, Eslick, & Mitroff, 2012; Gaspar et al., 2014) im Vergleich von Spielern zu Videospielun erfahrenen in realitätsnäheren Multitasking-Aufgaben (z.B. Autofahrer Simulator und gleichzeitiges Beantworten von Fragen; virtuelle Straße überqueren und gleichzeitig Gedächtnisaufgaben lösen), dass kein Gruppenunterschied festzustellen war (Chiappe, Conger, Liao, Caldwell, & Vu, 2013).

Darüber hinaus sind unserer Ergebnisse zur geteilten Aufmerksamkeit nicht problemlos einzuordnen, da erstaunlicherweise wenige andere Videospieldstudien diese kognitive Fähigkeit getestet haben.

Inkompatibilität:

Eine ANOVA konnte keine Signifikanz bezüglich der Differenz aus kongruenten zu nicht kongruenten Versuchen beweisen.

Unsworth et al. (2015) wertete die Daten einer größeren Videospieldstudie mit insgesamt 586 Probanden aus, um den Einfluss auf mehrere kognitive Fähigkeiten zu untersuchen. Unter anderem wurden Inkompatibilitäts- und Go/NoGo-Tests durchgeführt. Beide Tests konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen und nur einen schwachen Zusammenhang zur Videospielderfahrung finden.

Interessanterweise fand Engelhardt et al. (2015) sogar einen negativen Zusammenhang zwischen Videospieldkonsum und der Leistung im Inkompatibilitätstest, wobei die Korrelation bei Spielen

mit hohem Schwierigkeitsgrad am stärksten war. Er erklärte dies über eine gemeinsame kognitive Ressource, die beim Spielen verbraucht wurde und somit beim Test nicht zur Verfügung stand. Da die Testung direkt nach der Spielphase stattfand, sind die Ergebnisse allerdings nicht direkt übertragbar, machen jedoch die Wichtigkeit des zeitlichen Verlaufs von Lerneffekten deutlich.

Zusammengefasst waren die Ergebnisse aller von uns durchgeführten kognitiven Tests statistisch nicht signifikant. Dies lässt in erster Linie vermuten, dass Jump'n-Runs bzw. Super Mario 64 im Speziellen keinen Lerneffekt der getesteten kognitiven Fähigkeiten ermöglicht, der über das eigentliche Spiel hinausgeht.

Die getesteten kognitiven Eigenschaften lehnten sich an Studien an, die als Trainingsinstrument besonders AVGs benutzten und mit diesen positive Testresultate erzielten. Unser Ergebnis mag bei genauerer Betrachtung der Spielmechaniken von AVG und Jump'n-Runs erklärbar sein. Womöglich wurden die getesteten Fähigkeiten durch Super Mario nicht ausreichend gefordert, um zu einem Transfereffekt zu führen. Während bei AVGs, besonders bei First-Person-Shootern, die Aufmerksamkeit permanent zwischen verschiedenen plötzlich auftauchenden und sich bewegenden Zielen in der Umgebung wechseln muss (A. C. Oei & M. D. Patterson, 2014), ist bei Super Mario die Aufmerksamkeit in Relation dazu eher auf den eigenen Charakter und die Bewältigung der Bewegungsabläufe fokussiert. Das Spiel ist im Allgemeinen etwas langsamer als klassische AVGs, Feinde kommen eher vereinzelt vor und sind meist schon von Weitem zu erkennen. Die Notwendigkeit, sich auf mehrere Dinge gleichzeitig zu konzentrieren, ist somit geringer.

Allerdings ist es wichtig, die Idee von durch Videospiele induzierten Transfereffekten allgemein kritisch zu hinterfragen, da besonders kürzlich auch andere Studien zum Thema Videospiele zu sehr unterschiedlichen, sich teilweise direkt widersprechenden Schlüssen bezüglich eines Transfereffekt kamen.

So ließ sich die Verbesserung mehrerer kognitiver Fähigkeiten durch Videospiele nicht replizieren (Boot et al., 2008), obwohl zuvor publizierte Studien diesen Effekt zeigten (C. S. Green & Bavelier, 2006, 2012). Die verschiedenen Ergebnisse wurden unter anderem dahingehend interpretiert, dass die unterschiedlichen Kombinationen von angewandtem Spiel und neuropsychologischem Test in den jeweiligen Studien deutliche Auswirkungen auf das

Messresultat haben können. So gibt es zur Messung einer bestimmten kognitiven Fähigkeiten unterschiedliche Testverfahren, die im konkreten Versuchsablauf unter Umständen geringe, aber entscheidende Unterschiede (Dauer und Darstellung eines Stimulus, Abstand zwischen Hinweisen und Reizdarbietung etc.) aufweisen und somit starken Einfluss auf die Messgenauigkeit des Transfereffekts haben (Basak et al., 2008; Boot et al., 2008; Adam C. Oei & Michael D. Patterson, 2014). Zudem können geringe Unterschiede im verwendeten Trainingsinstrument, beispielsweise der Einsatz unterschiedlicher Spiele zu starken Einflüssen der Ergebnisse der Testbatterien führen. Es wäre deshalb denkbar, dass in unserer Studie andere Testverfahren einen signifikanten Transfereffekt gezeigt hätten.

Zudem hat in Trainingsstudien der Einfluss des konkreten Versuchsablaufs, insbesondere der Umfang der Gesamtspielzeit entscheidenden Einfluss auf den Lerneffekt. Während Green et al. (2003) schon nach zehnstündigem Training eine signifikante Verbesserung der Fähigkeiten seiner Probanden nachweisen konnte, konnte Boot et al. (2008) nach über 20 stündigem Training hingegen keinen Transfereffekt zeigen. Videospielexperten hingegen, die regelmäßig in Studien bessere kognitive Fähigkeiten gegenüber Nicht-Spielern bewiesen, beschäftigen sich teilweise mehrere Stunden täglich, oft schon seit ihrer Kindheit, mit Videospielen, was insgesamt tausende bis zehntausende Stunden Videospieldauer ausmacht. Ob, wann genau und in welchem Ausmaß in dieser weiten Spanne ein Transfereffekt einsetzt, bleibt bisher fraglich. In unserer Studie belief sich die Gesamtspielzeit auf 30 Stunden in einem Zeitraum von zwei Monaten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein anderer Trainingsablauf (z.B. mehr Spielzeit pro Tag oder längere Gesamtdauer) einen signifikanten Effekt auf das Ergebnis gehabt hätte.

Boot et al. (2008) stellte allgemein den Effekt einer zeitlich eingeschränkten Trainingseinheit auf die Kognition in Frage, indem er in einer Studie sowohl eine Querschnittsuntersuchung mit Vielspielern gegen Nicht-Spieler, sowie eine prospektive Trainingsstudie mit Videospieldauer durchführte, die jeweils die gleichen neuropsychologischen Tests durchliefen. In der Trainingsstudie wurde ein AVG, ein Strategiespiel und ein Puzzle-Spiel verwendet. Zwar zeigten die Vielspieler eindeutig bessere Ergebnisse als die Nicht-Spieler in der Querschnittstudie, allerdings hatte das Training unabhängig vom trainierten Spiel keinen Effekt auf die Performance in den neuropsychologischen Tests.

Die Aussagekraft von häufig durchgeführten Querschnittstudien ist im Allgemeinen dadurch eingeschränkt, dass sich nicht vollkommen ausschließen lässt, dass Personen mit sowieso schon besseren kognitiven oder visuellen Fähigkeiten eine natürliche Affinität zu Videospielen haben

und so eine Selektionsverzerrung die Ergebnisse a priori beeinflusst hat (Powers, Brooks, Aldrich, Palladino, & Alfieri, 2013). So gibt es Hinweise darauf, dass Menschen mit überdurchschnittlicher Intelligenz in Videospiele erfolgreicher agieren (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Shah, 2011).

Zudem kommt in Querschnittstudien der Hawthorne-Effekt zum Tragen. Die unterschiedliche Erwartungshaltung von Probanden, die aufgrund ihrer Expertise in ihrem Fachgebiet rekrutiert werden, führt zu einer höheren Motivation und positiveren Erwartungshaltung gegenüber Labortests als bei Probanden der Kontrollgruppe (Kristjansson, 2013; Powers et al., 2013).

Auch kürzlich durchgeführte Studien mit größeren Probandenkollektiven zweifeln mittlerweile den seit mehreren Jahren postulierten Trainingseffekt von Videospiele an, der teilweise auf statistischen und methodischen Ungenauigkeiten beruhen soll (Unsworth et al., 2015). So sollen teils zu kleine Gruppengrößen gewählt worden sein, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern. Eine Meta-Analyse kam zu dem Schluss, dass viele der bisher gemessenen Trainingseffekt eine geringe statistische Signifikanz hatten (Powers et al., 2013). In einer kürzlich durchgeführten Studie (Unsworth et al., 2015) mit relativ großer Probandenzahl (N=466) und Durchführung einer großen neuropsychologischen Testbatterie konnten nur in drei von 80 möglichen Korrelationen aus Spielerfahrung in bestimmten Spielegenres und Leistung in kognitiven Tests signifikante Ergebnisse gefunden werden. Unter anderem wurde hier ein Inkompatibilitätstest, sowie ein Go/NoGo-Test verwendet, deren Ergebnisse nicht signifikant waren. In dieser Querschnittstudie wurde somit auch der bisher postulierte Vorteil von langjährigen Videospiele gegenüber Nicht-Spielern entkräftet und auf Mängel in bisher durchgeführten Videospielestudien hingewiesen, die einen durch Videospiele in Zusammenhang stehenden kognitiven Vorteil postulierten. Auch andere Studien konnten bei höherer Probandenzahl (N=92) keine signifikante Korrelation der kognitiven Leistung mit Videospieleerfahrung ermitteln und zweifeln einen Trainingseffekt durch Videospiele an (Gobet et al., 2014).

Besonders aussagekräftige Ergebnisse lassen sich aus der kürzlich von Powers et al. (2013) durchgeführten Meta-Analyse entnehmen, in der unter anderem die Leistung in neuropsychologischen Tests ausgewertet wurde. Neben auditorischen, motorischen und visuellen Aufgaben wurden im Besonderen exekutive Funktionen (Flexibilität, Inkompatibilität, Multitasking etc.) untersucht. Hierbei wurde nach Studiendesign in Querschnitt (N=4395) - und Trainingsstudie (N=3721) unterschieden. Während andere neuropsychologische Fähigkeiten teils mittlere bis starke Effekte zeigten, konnten für die exekutiven Funktionen in den

Querschnittstudien größtenteils nur geringe, teils mittlere, in den Trainingsstudien lediglich vernachlässigbare Auswirkungen gezeigt werden. Bei letzteren zeigte nur das Go/NoGo-Paradigma einen signifikanten Effekt. Allgemein war die Streuung der Ergebnisse auffallend groß. Dies wurde als Folge der großen Varianz von angewandten Spielen und neuropsychologischen Tests gedeutet.

Vor dem Hintergrund dieser Theorien ist nicht sicher zu beurteilen, ob bei unserer Trainingsstudie zwar prinzipiell Transfereffekte aufgetreten sind, diese jedoch in den von uns angewandten Tests nicht erfasst wurden (Basak et al., 2008) oder ob prinzipiell keine kognitiven Fähigkeiten erlangt wurden, die sich auf nicht trainierte Aufgaben übertragen lassen (Powers et al., 2013). Die erwähnte Meta-Analyse deutet eher auf Letzteres hin.

Die Ergebnisse unserer kognitiven Tests sind vor diesem Hintergrund nicht ungewöhnlich, sondern mit kürzlich durchgeführten Untersuchungen konform, die den bisher postulierten Transfereffekt kognitiver Fähigkeiten durch Videospieldtraining anzweifeln.

Allerdings sollte die Idee, Videospiele zu medizinischen Zwecken zu verwenden, nicht voreilig verworfen werden. Das in Kapitel IV.1.2. erläuterte Modell der kognitiven Reserve legt nahe, dass diese von der lebenslangen Exposition gegenüber kognitiven Anforderungen abhängig ist. Es ist somit nicht unwahrscheinlich, dass erst eine langjährige Beschäftigung mit kognitiv fordernden Videospiele notwendig ist, um eine signifikante kognitiven Leistungsverbesserung zu erzielen.

Es wird auf jeden Fall deutlich, dass Lerneffekte durch Videospiele gewissen, noch nicht näher erforschten Bedingungen unterliegen. Die derzeit deutlich sichtbare Diskrepanz zwischen den Studienergebnissen der letzten Jahre zeigt die Notwendigkeit weiterer intensiver Forschung in diesem Bereich, um eine einheitliche Theorie über den Zusammenhang zwischen Videospieldkonsum und kognitiven Transfereffekten herzuleiten.

IV.3. Limitierungen der Studie

Die Anzahl der Probanden war mit 25 pro Gruppe zwar ausreichend, sollte in Folgestudien nach Möglichkeit jedoch höher ausfallen, um die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Fehlers 2. Art zu reduzieren und zudem auch kleinere statistische Effekte zu erfassen.

Zwar hat sich nach der zweimonatigen Spieldauer die Hirnfunktion verändert, allerdings nicht die Leistung in der TAP. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich ein Effekt nach längerer Spielzeit einstellen würde. Auch die erwähnte Abhängigkeit der Ergebnisse vom verwendeten Untersuchungsparadigma könnte einen vorhandenen kognitiven Lerneffekt verschleiert haben. (Terlecki & Newcombe, 2005). Es sollten zur genaueren Ermittlung, ob und welche kognitiven Lern- und Transfereffekte durch Videospiele vermittelt werden, weitere neuropsychologische Testbatterien in den Untersuchungsablauf integriert werden.

Typischerweise wurden in unserer Studie aus praktischen Gründen zwei Messzeitpunkte, prä- und postinterventionell, gewählt. Der Lernprozess ist ein kontinuierlicher Vorgang, sodass Momentaufnahmen nicht zeigen können, wie genau sich der Verlauf der Hirnaktivitätsänderungen darstellt. Die postinterventionelle Messung geschah nach vielen Stunden Spielzeit, wenn viele Spieler schon ein Trainingsstadium erreicht haben, in denen erforderliche kognitive Prozesse weitestgehend automatisiert ablaufen und somit weniger Ressourcen benötigt wurden. Es ist somit nicht auszuschließen, dass sich gerade am Anfang der Trainingsphase eher eine Aktivitätssteigerung in beanspruchten Hirnarealen gezeigt hätte. In folgenden Studien wäre die Durchführung mehrerer Messpunkte interessant, um den Verlauf kognitiver Lernvorgänge durch Videospieldkonsum genauer darzustellen. Auch die Erfassung von Langzeitergebnissen mehrere Monate nach Beendigung der Interventionsphase wäre von Interesse, um die Nachhaltigkeit des Lernprozesses zu überprüfen.

Weder die Probanden noch die Studienbetreuer waren in unserer Studie verblindet, allerdings war dies im Rahmen unseres Studienablaufs nicht möglich. In folgenden Studien wäre die Anwendung eines „Kontrollspiels“ mit geringen kognitiven Anforderungen für die Kontrollgruppe zu empfehlen, um eine Verblindung und den direkteren Vergleich der kognitiven Effekte zu ermöglichen.

Unsere Studie entspricht einer prospektiven Studie, so dass a priori bestehende Gruppenunterschiede gering ausfallen dürften. Beide Gruppen unterschieden sich in keinem Punkt, insbesondere der Videospieldzeit in den letzten 12 Monaten, signifikant voneinander. Allerdings beruhten diese Angaben auf den subjektiven Einschätzungen der Probanden selbst, so

dass hier Verfälschungen nicht ausgeschlossen werden können. Auch andere Parameter wie der Spielspaß und die Frustration beruhen auf subjektiven Einschätzungen. In zukünftigen Studien wäre der Einsatz genauerer Analysemethoden zur Operationalisierung von emotionalen Zuständen wünschenswert.

IV.4. Ausblick

Trotz des in den letzten Jahren zunehmenden wissenschaftlichen Interesses bezüglich des neurophysiologischen und gesellschaftlichen Einflusses von Videospiele sind bisher noch viele Fragen ungeklärt oder werden kontrovers diskutiert. Es besteht weiterhin Forschungsbedarf zur Aufklärung der möglichen positiven und negativen Folgen. Hierbei sollten wie unter IV.2.1. erläuterte methodische und statistische Schwachstellen vermieden werden.

Insbesondere um Merkmalsunterschiede zwischen den Probanden (Geschlecht, Bildungsstand etc.) mit Videospiele in Beziehung setzen zu können, sind größere Probandenkollektive notwendig. Da beispielsweise Geschlechterunterschiede bei räumlicher Kognition bekannt sind (Terlecki & Newcombe, 2005), könnte hier ein Vergleich durch Videospieletraining aufschlussreich sein. Auch der entscheidende Einfluss des Alters auf die neuronale Plastizität sollte im Rahmen entsprechend gestalteter Probandenkollektive untersucht werden. Gerade ältere Probanden könnten von der kontinuierlichen kognitiven Stimulation und den motivierenden Abläufen in entsprechenden Videospiele profitieren.

Es ist außerdem bekannt, dass die geforderten kognitiven Fähigkeiten stark vom jeweiligen Spiel abhängen. Eine genauere Charakterisierung der spielabhängigen Anforderung ist notwendig, um gezielter nach trainierten und verbesserten Fähigkeiten suchen zu können. Hierfür wäre der vermehrte Einsatz funktioneller Bildgebung (fMRT, PET, Nahinfrarotspektroskopie) sinnvoll, um die neuronalen Korrelate dieser Prozesse zu erfassen. Auch Blutuntersuchungen mit Markern für Neuroneogenese wie brain-derived neurotrophic factor (BDNF) könnten zielführend sein.

Von Interesse ist zudem, inwiefern Videospieletraining sich auf Tätigkeiten außerhalb von typischen Studienprotokollen auswirkt. Es gibt bisher nur wenige Studien, die den Zusammenhang von Videospielekonsum zu komplexen Aufgaben des Alltagslebens untersuchen. Dies ist besonders vor dem Hintergrund eines möglichen Einsatzes im klinischen Alltag zu Rehabilitationszwecken sinnvoll und notwendig. Dazu wäre die Durchführung einer Studie mit

Patienten aus dem rehabilitativen Bereich sinnvoll, bei denen die potentiellen positiven Auswirkungen des Videospieles unter „realen“ Bedingungen untersucht werden könnten. Es wäre zu hoffen, dass besonders Personen von dieser Art kognitivem Training profitieren, die im Gegensatz zu Gesunden unter einem bestehenden Defizit geistiger Fähigkeiten leiden. Auch die zunehmende Integration von Bewegungen und physikalischen Übungen in Videospiele zeigt vielversprechende rehabilitative Ansätze (Zimmermann et al., 2014).

Die Theorie der Verbesserung der kognitiven Reserve durch kognitives Training könnte im Sinne einer protektiven Maßnahme vor Alterungserscheinungen oder sogar dementiellen Erkrankungen durch eine mehrjährige Längsschnittstudie untersucht werden.

Allerdings zeigt unsere Studie deutlich, dass der Weg bis zur therapeutischen Anwendung noch weit und intensive Grundlagenforschung notwendig ist, um die Mechanismen von Kognition und neuronalen Vorgängen unter dem Einfluss von Videospieldkonsum genauer zu definieren.

V. Zusammenfassung

Hintergrund: Videospiele haben in unserer heutigen Zeit eine bedeutende Rolle als Freizeitbeschäftigung in allen Alters- und Gesellschaftsschichten eingenommen. Die genauen Auswirkungen von Videospieldkonsum konnten aus wissenschaftlicher Sicht jedoch bisher nicht eindeutig identifiziert werden. Der bisherige Fokus auf die vermuteten negativen Effekte konnte in den letzten Jahren durch Hinweise auf potentiell positive Auswirkungen allerdings erweitert werden. Videospiele scheinen höhere Hirnfunktionen anzusprechen und zu trainieren. So deuten aktuelle Studien beispielsweise auf eine Verbesserung von räumlich-visuellen Fähigkeiten hin. Die Einflüsse auf kognitive Fähigkeiten, die insbesondere im präfrontalen Kortex prozessiert werden, sind aufgrund der teils widersprüchlichen Datenlage bisheriger Studien allerdings nicht eindeutig und bedürfen weiterer Erforschung.

Der eindeutige Beweis der Verbesserung kognitiver Fähigkeiten durch Videospieldkonsum könnte in Zukunft zur Anwendung im rehabilitativ-klinischen Bereich von neurodegenerativen und anderen Hirnerkrankungen führen.

Zielsetzung: In der vorliegenden Studie soll der von vorherigen Studien postulierte positive Einfluss von Videospieldkonsum auf die kognitive Leistungsfähigkeit untersucht werden. Zudem sollen Veränderungen der Aktivität des präfrontalen Kortex als neuronales Korrelat kognitiver Prozesse funktionell dargestellt, sowie nach Zusammenhängen zu emotionalen und motivationalen Erscheinungen gesucht werden.

Material und Methodik: Für die vorliegende Studie wurden 50 gesunde Probanden mit bisher geringem Kontakt zu Videospielden rekrutiert. Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde zu Beginn in den Disziplinen mentale Flexibilität, Multitasking, Inkompatibilität und einer Go-NoGo-Aufgabe mit der Testbatterie für Aufmerksamkeitsüberprüfung ermittelt. Mittels funktioneller MRT-Untersuchungen wurde die Hirnaktivität registriert. 25 Probanden wurden der Interventionsgruppe zugeteilt und trainierten anschließend über zwei Monate 30 Minuten pro Tag mit einem komplexen, kognitiv fordernden Videospield (Super Mario 64 DS). Zur Verfolgung des Spielverlaufs und Erhebung von Parametern des subjektiven Spielerlebens wurden wöchentlich standardisierte Fragebögen von den Probanden ausgefüllt. Die Kontrollgruppe durfte sich in dieser Zeit nicht mit Videospielden beschäftigen. Nach Abschluss der Interventionsphase wurde erneut die kognitive Leistung und funktionelle Hirnaktivität in beiden Gruppen erhoben.

Ergebnis: Es stellten sich in der Interventionsgruppe signifikante Verringerungen der Hirnaktivität im anterioren Bereich des präfrontalen Kortex (Brodmannareal 10) ($t(43)=4,26$; $p<0,01$) im Vergleich zur Kontrollgruppe dar ($t(39)=-0,91$; $p>0,1$). Eine 2x2 ANOVA zeigte eine signifikante Interaktion von Zeit und Gruppe ($F(1)=8,76$; $p<0,01$). Das Ausmaß der Aktivitätsveränderung korrelierte zudem positiv mit der erreichten Leistung im Spiel ($r=0,55$; $p<0,01$) und dem empfundenen Spaß ($r=0,55$; $p<0,05$). Ein negativer Zusammenhang bestand mit der empfundenen Frustration ($r=-0,59$, $p<0,05$). Eine signifikante Korrelation mit dem Verlangen zu Spielen konnte nicht nachgewiesen werden ($r=0,09$; $p>0,1$). ANOVAs konnten für keine der durchgeführten kognitiven Tests eine signifikante Verbesserung durch das Videospieltraining zeigen (alle p 's $>0,1$).

Diskussion: Das Brodmannareal 10 dient als supramodales Zentrum der Analyse interner und externer Gegebenheiten und Anforderungen. Auf dieser Grundlage werden adäquate Teil- und Hauptziele generiert und dafür erforderliche kognitive Fähigkeiten miteinander kombiniert und koordiniert.

Die Verminderung der Hirnaktivität und der Zusammenhang zu einer guten Leistung im Spiel deuten auf Lernprozesse innerhalb der Spielergruppe hin. Neue Aufgaben benötigen anfangs ein hohes Maß an kognitiver Kontrolle und Aufmerksamkeit. Durch kontinuierliches Training kommt es zur Ausbildung von Handlungs- und Denkschemata, die die benötigten kognitiven Ressourcen für die entsprechende Aufgabe reduzieren. Im Rahmen neuroplastischer Prozesse kommt es zur Anpassung der involvierten Hirnregion mit Verringerung der BOLD-Signalintensität.

Der Einfluss von positiven Emotionen und Motivation auf Kognition und die Interaktion mit entsprechenden Hirnarealen wird über den Neurotransmitter Dopamin vermittelt, dessen vermehrte Ausschüttung durch Videospiele bereits nachgewiesen werden konnte. Dopamin kann einen fördernden Effekt auf die neuronale Plastizität und kognitive Leistungsfähigkeit haben.

Allerdings scheinen die genannten Prozesse und funktionellen Hirnveränderungen auf das Trainingsobjekt beschränkt zu sein, da im Sinne eines Transfereffektes in keiner Disziplin der kognitiven Testbatterie eine Verbesserung festgestellt werden konnte.

Zwar zweifeln auch andere kürzlich durchgeführte Studien den bisher postulierten Trainingseffekt durch Videospielkonsum an, andererseits zeigen Untersuchungen bei Probanden mit bereits eingetretenen neurodegenerativen Erkrankungen und kognitiver Einschränkung hier vielversprechende Ergebnisse. Für eine abschließende Beurteilung des Potentials von

Videospieltraining ist besonders im Hinblick auf die klinische Anwendbarkeit weitere wissenschaftliche Forschung notwendig.

VI. Literaturverzeichnis

- Ackerman, P. L. (1988). Determinants of individual differences during skill acquisition: cognitive abilities and information processing. *J. Exp. Psychol., Gen.* 117, 288–318.
- Adachi, P. J., & Willoughby, T. (2013). More than just fun and games: the longitudinal relationships between strategic video games, self-reported problem solving skills, and academic grades. *J Youth Adolesc*, 42(7), 1041-1052. doi:10.1007/s10964-013-9913-9
- Anderson, C. A., & Dill, K. E. (2000). Video games and aggressive thoughts, feelings, and behavior in the laboratory and in life. *J Pers Soc Psychol*, 78(4), 772-790. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/psp/78/4/772/>
- Anderson, C. A., Shibuya, A., Ihori, N., Swing, E. L., Bushman, B. J., Sakamoto, A., . . . Saleem, M. (2010). Violent video game effects on aggression, empathy, and prosocial behavior in eastern and western countries: a meta-analytic review. *Psychol Bull*, 136(2), 151-173. doi:10.1037/a0018251
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychol Rev*, 89(4), 369-406. doi:10.1037/0033-295X.89.4.369
- Andrews, G., and Murphy, K. (2006). (2006). “Does video-game playing improve executive function? in *Frontiers in Cognitive Sciences*, ed. M. A. Vanchevsky (New York, NY: Nova Science Publishers, Inc.), 145–161.
- Arango, V., Underwood, M. D., & Mann, J. J. (2002). Serotonin brain circuits involved in major depression and suicide. *Prog Brain Res*, 136, 443-453.
- Ashby, F. G., Isen, A. M., & Turken, A. U. (1999). A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. *Psychol Rev*, 106(3), 529-550. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/rev/106/3/529/>
- Association, E. E. S. (2015). Industry Facts. Retrieved from <http://www.theesa.com/about-esa/industry-facts/>
- Aydin, K., Ucar, A., Oguz, K. K., Okur, O. O., Agayev, A., Unal, Z., . . . Ozturk, C. (2007). Increased gray matter density in the parietal cortex of mathematicians: a voxel-based morphometry study. *AJNR Am J Neuroradiol*, 28(10), 1859-1864. doi:10.3174/ajnr.A0696
- Bahlmann, J., Aarts, E., & D'Esposito, M. (2015). Influence of motivation on control hierarchy in the human frontal cortex. *J Neurosci*, 35(7), 3207-3217. doi:10.1523/jneurosci.2389-

14.2015

- Baker, S. C., Frith, C. D., & Dolan, R. J. (1997). The interaction between mood and cognitive function studied with PET. *Psychol Med*, 27(3), 565-578. Retrieved from http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FPSM%2FPSM27_03%2FS0033291797004856a.pdf&code=c3971ccf17cad40f3395fd739ff44a29
- Ballesteros, S., Prieto, A., Mayas, J., Toril, P., Pita, C., Ponce de Leon, L., . . . Waterworth, J. (2014). Brain training with non-action video games enhances aspects of cognition in older adults: a randomized controlled trial. *Front Aging Neurosci*, 6, 277. doi:10.3389/fnagi.2014.00277
- Barbas, H., & Pandya, D. N. (1989). Architecture and intrinsic connections of the prefrontal cortex in the rhesus monkey. *J Comp Neurol*, 286(3), 353-375. doi:10.1002/cne.902860306
- Barulli, D., & Stern, Y. (2013). Efficiency, capacity, compensation, maintenance, plasticity: emerging concepts in cognitive reserve. *Trends Cogn Sci*, 17(10), 502-509. doi:10.1016/j.tics.2013.08.012
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol Aging*, 23(4), 765-777. doi:10.1037/a0013494
- Bavelier, D., Green, C. S., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games. *Annu Rev Neurosci*, 35, 391-416. doi:10.1146/annurev-neuro-060909-152832
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward: hedonic impact, reward learning, or incentive salience? *Brain Res Brain Res Rev*, 28(3), 309-369. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0165017398000198/1-s2.0-S0165017398000198-main.pdf?_tid=769e8d58-03c0-11e5-adaf-00000aacb35d&acdnat=1432656266_e10b9940f48be14b1f6cb6c41bcc9996
- Bitkom. (n.d.). Anteil der Befragten, d. V.-o. C. s. I. S.-D. S.-P. Z. a. J., von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/238877/umfrage/nutzung-von-gaming-in-deutschland/>.
- Boot, W. R., Blakely, D. P., & Simons, D. J. (2011). Do action video games improve perception and cognition? *Front Psychol*, 2, 226. doi:10.3389/fpsyg.2011.00226

- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychol (Amst)*, *129*(3), 387-398. doi:10.1016/j.actpsy.2008.09.005
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: a meta-analysis. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *60*(5), P223-233. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16131616>
- Braver, T. S., Cohen, J. D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, *5*(1), 49-62. doi:10.1006/nimg.1996.0247
- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Backman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage*, *58*(4), 1110-1120. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.06.079
- Cain, M. S., Landau, A. N., & Shimamura, A. P. (2012). Action video game experience reduces the cost of switching tasks. *Atten Percept Psychophys*, *74*(4), 641-647. doi:10.3758/s13414-012-0284-1
- Carreiras, M., Seghier, M. L., Baquero, S., Estevez, A., Lozano, A., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2009). An anatomical signature for literacy. *Nature*, *461*(7266), 983-986. doi:http://www.nature.com/nature/journal/v461/n7266/suppinfo/nature08461_S1.html
- Chiappe, D., Conger, M., Liao, J., Caldwell, J. L., & Vu, K.-P. L. (2013). Improving multi-tasking ability through action videogames. *Applied Ergonomics*, *44*(2), 278-284. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2012.08.002>
- Chou, Y. H., Yang, B. H., Hsu, J. W., Wang, S. J., Lin, C. L., Huang, K. L., . . . Lee, S. M. (2013). Effects of video game playing on cerebral blood flow in young adults: a SPECT study. *Psychiatry Res*, *212*(1), 65-72. doi:10.1016/j.psychres.2012.10.002
- Clark, J. E., Lanphear, A. K., & Riddick, C. C. (1987). The effects of videogame playing on the response selection processing of elderly adults. *J Gerontol*, *42*(1), 82-85. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3794204>
- Colom, R., Quiroga, M. Á., Solana, A. B., Burgaleta, M., Román, F. J., Privado, J., . . . Karama, S. (2012). Structural changes after videogame practice related to a brain network associated with intelligence. *Intelligence*, *40*(5), 479-489. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2012.05.004>
- Colzato, L. S., van den Wildenberg, W. P., Zmigrod, S., & Hommel, B. (2013). Action video

- gaming and cognitive control: playing first person shooter games is associated with improvement in working memory but not action inhibition. *Psychol Res*, 77(2), 234-239. doi:10.1007/s00426-012-0415-2
- Colzato, L. S., van Leeuwen, P. J., van den Wildenberg, W. P., & Hommel, B. (2010). DOOM'd to Switch: Superior Cognitive Flexibility in Players of First Person Shooter Games. *Front Psychol*, 1, 8. doi:10.3389/fpsyg.2010.00008
- Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-U-shaped dopamine actions on human working memory and cognitive control. *Biol Psychiatry*, 69(12), e113-125. doi:10.1016/j.biopsych.2011.03.028
- Crockford, D. N., Goodyear, B., Edwards, J., Quickfall, J., & el-Guebaly, N. (2005). Cue-induced brain activity in pathological gamblers. *Biol Psychiatry*, 58(10), 787-795. doi:10.1016/j.biopsych.2005.04.037
- Daw, N. D., O'Doherty, J. P., Dayan, P., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Cortical substrates for exploratory decisions in humans. *Nature*, 441(7095), 876-879. doi:10.1038/nature04766
- Desbrosses, S. (2013, 13.3.2015). Aire de Brodmann 10 - cortex préfrontal antérieur. Retrieved from <http://brodmann.psyblogs.net/2009/12/aire-de-brodmann-10-cortex-prefrontal.html>
- Diamond, A. (1996). Evidence for the importance of dopamine for prefrontal cortex functions early in life. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 351(1346), 1483-1493; discussion 1494. doi:10.1098/rstb.1996.0134
- Donohue, S. E., James, B., Eslick, A. N., & Mitroff, S. R. (2012). Cognitive pitfall! Videogame players are not immune to dual-task costs. *Atten Percept Psychophys*, 74(5), 803-809. doi:10.3758/s13414-012-0323-y
- Dreisbach, G., & Goschke, T. (2004). How positive affect modulates cognitive control: reduced perseveration at the cost of increased distractibility. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 30(2), 343-353. doi:10.1037/0278-7393.30.2.343
- Drevets, W. C., & Raichle, M. E. (1998). Suppression of Regional Cerebral Blood during Emotional versus Higher Cognitive Implications for Interactions between Emotion and Cognition. *Cognition and Emotion*, 12(3), 353-385. doi:10.1080/026999398379646
- e.V., G. A. M. E. B. d. C. (2013). Deutschlands Größter Gamesmarkt in Europa - Newzoo und G.A.M.E. Bundesverband leben Marktzahlen für 2013 vor. Retrieved from <http://game-bundesverband.de/mit-266-milliarden-euro-ist-deutschland-groester-gamesmarkt-in->

- europa-newzoo-und-g-a-m-e-bundesverband-legen-marktzahlen-fur-2013-vor/
- Emre, M., Aarsland, D., Brown, R., Burn, D. J., Duyckaerts, C., Mizuno, Y., . . . Dubois, B. (2007). Clinical diagnostic criteria for dementia associated with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 22(12), 1689-1707; quiz 1837. doi:10.1002/mds.21507
- Engelhardt, C. R., Hilgard, J., & Bartholow, B. D. (2015). Acute exposure to difficult (but not violent) video games dysregulates cognitive control. *Computers in Human Behavior*, 45(0), 85-92. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.089
- Fimm, V. (Abrufdatum: 20.4.2015). PSYTEST - psychologische Testsysteme, .
http://www.psytest.net/index.php?page=impressum&hl=de_DE.
- Fisk, A. D., & Schneider, W. (1983). Category and word search: generalizing search principles to complex processing. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 9(2), 177-195.
- Fitzpatrick, M. R., & Stalikas, A. (2008). Positive emotions as generators of therapeutic change. *Journal of Psychotherapy Integration*, 18(2), 137-154. doi:10.1037/1053-0479.18.2.137
- Fredrickson, B. L. (2001). The Role of Positive Emotions in Positive Psychology: The Broaden-and-Build Theory of Positive Emotions. *Am Psychol*, 56(3), 218-226. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3122271/>
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain Structures Differ between Musicians and Non-Musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245. Retrieved from <http://www.jneurosci.org/content/23/27/9240.abstract>
- Gaspar, J. G., Neider, M. B., Crowell, J. A., Lutz, A., Kaczmarek, H., & Kramer, A. F. (2014). Are gamers better crossers? An examination of action video game experience and dual task effects in a simulated street crossing task. *Hum Factors*, 56(3), 443-452.
- Gobet, F., Johnston, S. J., Ferrufino, G., Johnston, M., Jones, M. B., Molyneux, A., . . . Weeden, L. (2014). "No level up!": no effects of video game specialization and expertise on cognitive performance. *Front Psychol*, 5, 1337. doi:10.3389/fpsyg.2014.01337
- Goldstein J, C. L., Oosterbroek M, Michielsen M, Van Houten O, Salvedera F. (1997). Videogames and the elderly. *Social Behavior and Personality*. 25(4):345–352.
- Gopher, D., Weil, M., & Siegel, D. (1989). Practice under changing priorities: An approach to the training of complex skills. *Acta Psychol (Amst)*, 71(1–3), 147-177.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918(89)90007-3
- Gopher, D., Well, M., & Bareket, T. (1994). Transfer of Skill from a Computer Game Trainer to Flight. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*,

- 36(3), 387-405. doi:10.1177/001872089403600301
- Goto, Y., Yang, C. R., & Otani, S. (2010). Functional and dysfunctional synaptic plasticity in prefrontal cortex: roles in psychiatric disorders. *Biol Psychiatry*, 67(3), 199-207. doi:10.1016/j.biopsych.2009.08.026
- Gray, J. R. (2001). Emotional modulation of cognitive control: approach-withdrawal states double-dissociate spatial from verbal two-back task performance. *J Exp Psychol Gen*, 130(3), 436-452.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537. doi:http://www.nature.com/nature/journal/v423/n6939/supinfo/nature01647_S1.html
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 32(6), 1465-1478. doi:10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychol Aging*, 23(4), 692-701. doi:10.1037/a0014345
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Curr Biol*, 22(6), R197-206. doi:10.1016/j.cub.2012.02.012
- Green, C. S., Pouget, A., & Bavelier, D. (2010). Improved probabilistic inference as a general learning mechanism with action video games. *Curr Biol*, 20(17), 1573-1579. doi:10.1016/j.cub.2010.07.040
- Greenfield, P. M., DeWinstanley, P., Kilpatrick, H., & Kaye, D. (1994). Action video games and informal education: Effects on strategies for dividing visual attention. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 15(1), 105-123. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0193-3973(94)90008-6
- Greitemeyer, T., & Mugge, D. O. (2014). Video games do affect social outcomes: a meta-analytic review of the effects of violent and prosocial video game play. *Pers Soc Psychol Bull*, 40(5), 578-589. doi:10.1177/0146167213520459
- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chetelat, G., Viader, F., . . . Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS One*, 5(10). doi:10.1371/journal.pone.0013225
- Habeck, C., Hilton, H. J., Zarahn, E., Flynn, J., Moeller, J., & Stern, Y. (2003). Relation of

- cognitive reserve and task performance to expression of regional covariance networks in an event-related fMRI study of nonverbal memory☆. *Neuroimage*, 20(3), 1723-1733. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.032>
- Ham, B. J., Kim, Y. H., Choi, M. J., Cha, J. H., Choi, Y. K., & Lee, M. S. (2004). Serotonergic genes and personality traits in the Korean population. *Neurosci Lett*, 354(1), 2-5.
- Han, D. H., Kim, Y. S., Lee, Y. S., Min, K. J., & Renshaw, P. F. (2010). Changes in cue-induced, prefrontal cortex activity with video-game play. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 13(6), 655-661. doi:10.1089/cyber.2009.0327
- Harrison, B. J., Olver, J. S., Norman, T. R., Burrows, G. D., Wesnes, K. A., & Nathan, P. J. (2004). Selective effects of acute serotonin and catecholamine depletion on memory in healthy women. *J Psychopharmacol*, 18(1), 32-40. doi:10.1177/0269881104040225
- Illek, C. (2013). Für die junge Generation gehören Computerspiele zum Alltag – BITKOM. Retrieved from http://www.bitkom.org/77030_77024.aspx
- Isen, A. M. (1999). Positive Affect *Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 521-539): John Wiley & Sons, Ltd.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10081-10086. doi:10.1073/pnas.1103228108
- Jay, T. M. (2003). Dopamine: a potential substrate for synaptic plasticity and memory mechanisms. *Prog Neurobiol*, 69(6), 375-390.
- Jovancevic, J., Rosano, C., Perera, S., Erickson, K., & Studenski, S. (2012). A protocol for a randomized clinical trial of interactive video dance: potential for effects on cognitive function. *BMC Geriatr*, 12(1), 23. Retrieved from <http://www.biomedcentral.com/1471-2318/12/23>
- Kluwe, R.H. & Logan, G. (2000). Executive control. *Psychological Research (Special Issue)*, 63, 3-4.
- Knowlton, B. J., Morrison, R. G., Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (2012). A neurocomputational system for relational reasoning. *Trends Cogn Sci*, 16(7), 373-381. doi:10.1016/j.tics.2012.06.002
- Ko, C. H., Liu, G. C., Yen, J. Y., Chen, C. Y., Yen, C. F., & Chen, C. S. (2013). Brain correlates of craving for online gaming under cue exposure in subjects with Internet gaming

- addiction and in remitted subjects. *Addict Biol*, 18(3), 559-569. doi:10.1111/j.1369-1600.2011.00405.x
- Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S., & Grafman, J. (1999). The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*, 399(6732), 148-151. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/20178>
- Koepp, M. J., Gunn, R. N., Lawrence, A. D., Cunningham, V. J., Dagher, A., Jones, T., . . . Grasby, P. M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393(6682), 266-268. doi:10.1038/30498
- Kouneiher, F., Charron, S., & Koechlin, E. (2009). Motivation and cognitive control in the human prefrontal cortex. *Nat Neurosci*, 12(7), 939-945. doi:10.1038/nn.2321
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A., & Bardell, L. (1999). Training for executive control: Task coordination strategies and aging. In D. G. A. Koriat (Ed.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 617-652). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Kristjansson, A. (2013). The case for causal influences of action videogame play upon vision and attention. *Atten Percept Psychophys*, 75(4), 667-672. doi:10.3758/s13414-013-0427-z
- Krolock, M. (2014). Deutscher Kinomarkt kratzt an Umsatzmilliarde. Retrieved from <http://www.moviepilot.de/news/deutscher-kinomarkt-kratzt-an-umsatzmilliarde-127104>
- Kuhn, S., Lorenz, R., Banaschewski, T., Barker, G. J., Buchel, C., Conrod, P. J., . . . Gallinat, J. (2014). Positive association of video game playing with left frontal cortical thickness in adolescents. *PLoS One*, 9(3), e91506. doi:10.1371/journal.pone.0091506
- Lange, K. W., Robbins, T. W., Marsden, C. D., James, M., Owen, A. M., & Paul, G. M. (1992). 1-Dopa withdrawal in Parkinson's disease selectively impairs cognitive performance in tests sensitive to frontal lobe dysfunction. *Psychopharmacology (Berl)*, 107(2-3), 394-404. doi:10.1007/BF02245167
- Lee, H., Boot, W. R., Basak, C., Voss, M. W., Prakash, R. S., Neider, M., . . . Kramer, A. F. (2012). Performance gains from directed training do not transfer to untrained tasks. *Acta Psychol (Amst)*, 139(1), 146-158. doi:10.1016/j.actpsy.2011.11.003
- Lee, H., Voss, M. W., Prakash, R. S., Boot, W. R., Vo, L. T., Basak, C., . . . Kramer, A. F. (2012). Videogame training strategy-induced change in brain function during a complex visuomotor task. *Behav Brain Res*, 232(2), 348-357. doi:10.1016/j.bbr.2012.03.043
- Leon, M. I., & Shadlen, M. N. (1999). Effect of expected reward magnitude on the response of

- neurons in the dorsolateral prefrontal cortex of the macaque. *Neuron*, 24(2), 415-425.
- Lerch, J. P., Yiu, A. P., Martinez-Canabal, A., Pekar, T., Bohbot, V. D., Frankland, P. W., Sled, J. G. (2011). Maze training in mice induces MRI-detectable brain shape changes specific to the type of learning. *Neuroimage*, 54(3), 2086-2095.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.086>
- Lewis, S. J. G., Dove, A., Robbins, T. W., Barker, R. A., & Owen, A. M. (2003). Cognitive Impairments in Early Parkinson's Disease Are Accompanied by Reductions in Activity in Frontostriatal Neural Circuitry. *The Journal of Neuroscience*, 23(15), 6351-6356.
Retrieved from <http://www.jneurosci.org/content/23/15/6351.abstract>
- Littel, M., van den Berg, I., Luijten, M., van Rooij, A. J., Keemink, L., & Franken, I. H. (2012). Error processing and response inhibition in excessive computer game players: an event-related potential study. *Addict Biol*, 17(5), 934-947. doi:10.1111/j.1369-1600.2012.00467.x
- Locke, H. S., & Braver, T. S. (2008). Motivational influences on cognitive control: behavior, brain activation, and individual differences. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 8(1), 99-112.
- Lövdén, M., Wenger, E., Mårtensson, J., Lindenberger, U., & Bäckman, L. (2013). Structural brain plasticity in adult learning and development. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(9, Part B), 2296-2310. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.02.014>
- Mathews, V. P., Kronenberger, W. G., Wang, Y., Lurito, J. T., Lowe, M. J., & Dunn, D. W. (2005). Media violence exposure and frontal lobe activation measured by functional magnetic resonance imaging in aggressive and nonaggressive adolescents. *J Comput Assist Tomogr*, 29(3), 287-292.
- Matsuda, G., & Hiraki, K. (2005). Prefrontal Cortex Deactivation During Video Game Play. In R. Shiratori, K. Arai, & F. Kato (Eds.), *Gaming, Simulations, and Society* (pp. 101-109): Springer Tokyo.
- Mattay, V. S., Tessitore, A., Callicott, J. H., Bertolino, A., Goldberg, T. E., Chase, T. N., Weinberger, D. R. (2002). Dopaminergic modulation of cortical function in patients with Parkinson's disease. *Ann Neurol*, 51(2), 156-164.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci*, 24, 167-202. doi:10.1146/annurev.neuro.24.1.167
- Mitchell, R. L., & Phillips, L. H. (2007). The psychological, neurochemical and functional neuroanatomical mediators of the effects of positive and negative mood on executive

- functions. *Neuropsychologia*, 45(4), 617-62 doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.030
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends Cogn Sci*, 7(3), 134-140.
- Neumeister, A. (2003). Tryptophan depletion, serotonin, and depression: where do we stand? *Psychopharmacol Bull*, 37(4), 99-115.
- Nieoullon, A. (2002). Dopamine and the regulation of cognition and attention. *Prog Neurobiol*, 67(1), 53-83. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0082(02)00011-4
- Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2014). Are videogame training gains specific or general? *Front Syst Neurosci*, 8, 54. doi:10.3389/fnsys.2014.00054
- Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2014). Playing a puzzle video game with changing requirements improves executive functions. *Computers in Human Behavior*, 37(0), 216-228. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.046
- Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465(7299), 775-778. doi:10.1038/nature09042
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16(2), 331-348. doi:10.1006/nimg.2002.1087
- Piech, R. M., Lewis, J., Parkinson, C. H., Owen, A. M., Roberts, A. C., Downing, P. E., & Parkinson, J. A. (2010). Neural correlates of affective influence on choice. *Brain Cogn*, 72(2), 282-288. doi:10.1016/j.bandc.2009.09.012
- Poletti, M., Emre, M., & Bonuccelli, U. (2011). Mild cognitive impairment and cognitive reserve in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord*, 17(8), 579-586. doi:10.1016/j.parkreldis.2011.03.013
- Powers, K., Brooks, P., Aldrich, N., Palladino, M., & Alfieri, L. (2013). Effects of video-game play on information processing: A meta-analytic investigation. *Psychon Bull Rev*, 20(6), 1055-1079. doi:10.3758/s13423-013-0418-z
- Preuss, T. M., & Goldman-Rakic, P. S. (1991). Myelo- and cytoarchitecture of the granular frontal cortex and surrounding regions in the strepsirrhine primate Galago and the anthropoid primate Macaca. *J Comp Neurol*, 310(4), 429-474. doi:10.1002/cne.903100402
- Primack, B. A., Carroll, M. V., McNamara, M., Klem, M. L., King, B., Rich, M., Nayak, S.

- (2012). Role of video games in improving health-related outcomes: a systematic review. *Am J Prev Med*, 42(6), 630-638. doi:10.1016/j.amepre.2012.02.023
- Raine, A., Meloy, J. R., Bihrlle, S., Stoddard, J., LaCasse, L., & Buchsbaum, M. S. (1998). Reduced prefrontal and increased subcortical brain functioning assessed using positron emission tomography in predatory and affective murderers. *Behav Sci Law*, 16(3), 319-332.
- Ramnani, N., & Owen, A. M. (2004). Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nat Rev Neurosci*, 5(3), 184-194. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/nrn1343>
- Rolinski, M., Fox, C., Maidment, I., & McShane, R. (2012). Cholinesterase inhibitors for dementia with Lewy bodies, Parkinson's disease dementia and cognitive impairment in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*, 3, CD006504. doi:10.1002/14651858.CD006504.pub2
- Rosser, J. C., Jr., Lynch, P. J., Cuddihy, L., Gentile, D. A., Klonsky, J., & Merrell, R. (2007). The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Arch Surg*, 142(2), 181-186; discussion 186. doi:10.1001/archsurg.142.2.181
- Sagi, Y., Tavor, I., Hofstetter, S., Tzur-Moryosef, S., Blumenfeld-Katzir, T., & Assaf, Y. (2012). Learning in the fast lane: new insights into neuroplasticity. *Neuron*, 73(6), 1195-1203. doi:10.1016/j.neuron.2012.01.025
- Schlickum, M. K., Hedman, L., Enochsson, L., Kjellin, A., & Fellander-Tsai, L. (2009). Systematic video game training in surgical novices improves performance in virtual reality endoscopic surgical simulators: a prospective randomized study. *World J Surg*, 33(11), 2360-2367. doi:10.1007/s00268-009-0151-y
- Schneider, W. S., Richard M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychol Rev*, Vol 84(1), Jan 1977, 1-66.
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E. J., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white matter architecture. *Nat Neurosci*, 12(11), 1370-1371. doi:10.1038/nn.2412
- Schultz, W. (1997). Dopamine neurons and their role in reward mechanisms. *Curr Opin Neurobiol*, 7(2), 191-197.
- Schultz, W., Apicella, P., & Ljungberg, T. (1993). Responses of monkey dopamine neurons to reward and conditioned stimuli during successive steps of learning a delayed response task. *J Neurosci*, 13(3), 900-913.

- Shallice, T. R., N., & Owen, A. M. (2004). Anterior prefrontal cortex: insights into function from anatomy and neuroimaging. *Nat Rev Neurosci*, *5*(3), 184-194. doi:10.1038/nrn1343
- Shigemune, Y., Abe, N., Suzuki, M., Ueno, A., Mori, E., Tashiro, M., Fujii, T. (2010). Effects of emotion and reward motivation on neural correlates of episodic memory encoding: a PET study. *Neurosci Res*, *67*(1), 72-79. doi:10.1016/j.neures.2010.01.003
- Sliwinski, M. J., & Hall, C. B. (1998). Constraints on general slowing: a meta-analysis using hierarchical linear models with random coefficients. *Psychol Aging*, *13*(1), 164-175. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9533199>
- Smith, M. E., McEvoy, L. K., & Gevins, A. (1999). Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Cognitive Brain Research*, *7*(3), 389-404. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410\(98\)00043-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6410(98)00043-3)
- Solé-Padullés, C., Bartrés-Faz, D., Junqué, C., Vendrell, P., Rami, L., Clemente, I. C., Molinuevo, J. L. (2009). Brain structure and function related to cognitive reserve variables in normal aging, mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Neurobiol Aging*, *30*(7), 1114-1124. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2007.10.008>
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *8*(03), 448-460. doi:doi:10.1017/S1355617702813248
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, *47*(10), 2015-2028. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004
- Stern, Y., Blumen, H. M., Rich, L. W., Richards, A., Herzberg, G., & Gopher, D. (2011). Space Fortress game training and executive control in older adults: A pilot intervention. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, *18*(6), 653-677. doi:10.1080/13825585.2011.613450
- Stern, Y., Tetrud, J. W., Martin, W. R., Kutner, S. J., & Langston, J. W. (1990). Cognitive change following MPTP exposure. *Neurology*, *40*(2), 261-264.
- Stern, Y., Zahahn, E., Habeck, C., Holtzer, R., Rakitin, B. C., Kumar, A., Brown, T. (2008). A common neural network for cognitive reserve in verbal and object working memory in young but not old. *Cereb Cortex*, *18*(4), 959-967. doi:10.1093/cercor/bhm134
- Strobach, T., Frensch, P. A., & Schubert, T. (2012). Video game practice optimizes executive control skills in dual-task and task switching situations. *Acta Psychol (Amst)*, *140*(1), 13-24. doi:10.1016/j.actpsy.2012.02.001

- Terlecki, M., & Newcombe, N. (2005). How Important Is the Digital Divide? The Relation of Computer and Videogame Usage to Gender Differences in Mental Rotation Ability. *Sex Roles, 53*(5-6), 433-441. doi:10.1007/s11199-005-6765-0
- Toril, P., Reales, J. M., & Ballesteros, S. (2014). Video game training enhances cognition of older adults: a meta-analytic study. *Psychol Aging, 29*(3), 706-716. doi:10.1037/a0037507
- Tsujimoto, S., Genovesio, A., & Wise, S. P. (2010). Evaluating self-generated decisions in frontal pole cortex of monkeys. *Nat Neurosci, 13*(1), 120-126. doi:10.1038/nn.2453
- Tsujimoto, S., Genovesio, A., & Wise, S. P. (2011). Frontal pole cortex: encoding ends at the end of the endbrain. *Trends Cogn Sci, 15*(4), 169-176. doi:10.1016/j.tics.2011.02.001
- Unsworth, N., Redick, T. S., McMillan, B. D., Hambrick, D. Z., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2015). Is Playing Video Games Related to Cognitive Abilities? *Psychol Sci.* doi:10.1177/0956797615570367
- Verhaeghen, P., Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., & Cerella, J. (2003). Aging and dual-task performance: a meta-analysis. *Psychol Aging, 18*(3), 443-460. doi:10.1037/0882-7974.18.3.443
- Weinstein, A. M. (2010). Computer and video game addiction-a comparison between game users and non-game users. *Am J Drug Alcohol Abuse, 36*(5), 268-276. doi:10.3109/00952990.2010.491879
- Woodward, T. S., Bub, D. N., & Hunter, M. A. (2002). Task switching deficits associated with Parkinson's disease reflect depleted attentional resources. *Neuropsychologia, 40*(12), 1948-1955.
- Zimmermann, R., Gschwandtner, U., Benz, N., Hatz, F., Schindler, C., Taub, E., & Fuhr, P. (2014). Cognitive training in Parkinson disease: cognition-specific vs nonspecific computer training. *Neurology, 82*(14), 1219-1226. doi:10.1212/wnl.0000000000000287

VII. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Kim-John Schlüter, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Kognitive und neuronale Korrelate von Videospielkonsum“ selbstständig und ohne nicht offengelegte 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.

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

Datum

Unterschrift

VIII. Lebenslauf

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

IX. Danksagung

Meinen Betreuern Herrn Professor Gallinat und Frau PD Dr. rer. nat. Simone Kühn möchte ich für die unkomplizierte Zusammenarbeit, die hilfreichen Verbesserungsvorschläge und die stets zeitnahen Rückmeldungen herzlich danken. Insbesondere für die Möglichkeit, an einem so interessanten Thema zu forschen bin ich überaus dankbar.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Tobias Gleich und Herrn Robert Lorenz, die kompetent Fragen aller Art geduldig und verständlich beantwortet haben und eine große Hilfe bei der Datenauswertung waren.

Für die technische und personelle Hilfe und manch interessantes Gespräch bei den MRT-Untersuchungen möchte ich Frau Sonali Beckmann danken.

Frau Butzek möchte ich für die überaus freundliche und tatkräftige Hilfe bei Anliegen aller Art danken.

Besonders danken möchte ich meinem ehemaligen Kommilitonen und Freund David Steiniger für die enge Zusammenarbeit, die Motivation und den kreativen Gedankenaustausch. Die gemeinsame Leidenschaft für das Thema und darüber hinausgehende gemeinsame Interessen waren stets eine große Unterstützung für mich.

Meiner Lebensgefährtin Annabell Delphine Pham bin ich zu größtem Dank verpflichtet. Ihre kritischen Korrekturen und ihr investigatives Hinterfragen waren sehr inspirierend und haben wesentlich zur Vollendung dieser Arbeit beigetragen. Auch in schwierige Phasen blieb sie ruhig und geduldig und hat mir mit kompetentem Rat zur Seite gestanden.

Meinen Eltern und meinem Bruder Kenny-Davis Schlüter möchte ich für die großartige Unterstützung in jeglicher Hinsicht und Motivation danken. Ohne ihre Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.