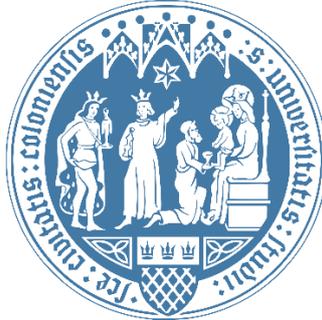

Achtsamkeit und Fehlerverarbeitung



INAUGURALDISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Humanwissenschaftlichen Fakultät
der Universität zu Köln

nach der Promotionsordnung vom 10.05.2010

vorgelegt von

Kristina Eichel

aus Bochum

April 2016

angefertigt bei Prof. Dr. Jutta Stahl

1. Berichterstatterin: Prof. Dr. Jutta Stahl (Köln)
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Alexander Gerlach (Köln)

Diese Dissertation wurde von der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln im Juli 2016 angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 20.07.2016

Zusammenfassung

Frühere Studien konnten zeigen, dass Achtsamkeitstraining einen Einfluss auf Fehlerverarbeitung hat (Larson, Steffen & Primosch, 2013; Teper & Inzlicht, 2012). Neben der Untersuchung von Verhaltensdaten wurden dazu auch neurophysiologische Korrelate der Fehlerverarbeitung, die Fehlernegativität (Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann & Blanke, 1991; Gehring, Goss, Coles, Meyer & Donchin, 1993) und Fehlerpositivität (Falkenstein, Hoormann, Christ & Hohnsbein, 2000) mit Hilfe des Elektroenzephalogramms erhoben. Bisher widersprachen sich diese Ergebnisse jedoch und es wurde noch nicht der Zusammenhang von Fehlerverarbeitung und Trait Achtsamkeit untersucht. Deshalb wurden in dieser Arbeit zum einen die interindividuellen Unterschiede der Komponenten der ereignis-korrelierten Potentiale mit Hilfe einer abgewandelten Simon-Aufgabe und einem Fehlerentdeckungsparadigma erfasst. Zum anderen wurden in Studie 1 Trait Achtsamkeit, in Studie 2 die Auswirkung eines vierwöchigen Smartphone-basierten Achtsamkeitstrainings im Vergleich zum Kontrollgruppentraining der Progressiven Muskelrelaxation auf die Korrelate der Fehlerverarbeitung erhoben. Bezüglich der Trait Achtsamkeit konnte für achtsamere ProbandInnen eine größere Differenz zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern in der Fehlernegativität gefunden werden. Das Achtsamkeitstraining zeigte im Vergleich zur Progressiven Muskelrelaxation keinen spezifischen Einfluss auf die Fehlerkorrelate, lediglich über beide Gruppen hinweg konnte neben einer Reduktion des Stresserlebens und einem Anstieg in Trait Achtsamkeit ein Anstieg der Fehlerpositivität festgestellt werden.

Schlagwörter: Achtsamkeit, Performanzüberwachung, Fehlerverarbeitung, Fehlerentdeckung, Meditation, Kognitive Kontrolle, Ereigniskorrelierte Potentiale, Fehlernegativität, Fehlerpositivität

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
2. Was ist Fehlerverarbeitung?	3
2.1 Neurophysiologische Korrelate der Fehlerverarbeitung.....	3
2.2 Modelle der Fehlerverarbeitung und Fehlerentdeckung	4
2.2.1 Mismatch-Theorie	6
2.2.2 Theorie der Konfliktüberwachung.....	7
2.2.3 Theorie des Verstärkungslernen	10
2.2.4 Predicted Response-Outcome Modell	13
2.2.5 Integrativer Modellansatz: Verstärkungs-Konflikt-basierte Kontrolle.....	14
2.2.6 Perzept- und objektbasierte Fehlerverarbeitung	15
2.3 Empirische Ergebnisse zu Fehlernegativität und Fehlerpositivität	16
2.3.1 Interpretationen und Befunde zur Ne/ERN	16
2.3.2 Interpretationen und Befunde zur Pe	17
2.3.3 Interindividuelle Unterschiede in Ne/ERN- oder Pe-Amplitude.....	22
3. Was ist Achtsamkeit?	25
3.1 Definitionen von Achtsamkeit und Achtsamkeitsmeditation.....	25
3.1.1 Achtsamkeitsmeditation	26
3.1.2 State versus Trait Achtsamkeit	28
3.1.3 Achtsamkeit messen	29
3.2 Empirische Ergebnisse zu psychologisch relevanten Effekten von Achtsamkeit	32
3.3 (Neurophysiologische) Modelle der Achtsamkeit.....	35
3.3.1 Das Liverpool-Modell	35
3.3.2 Default Mode Network versus Attention Networks	37
3.3.3 Self-Awareness, -Regulation, and –Transcendence (S-ART)-Modell	38
3.4 Modelle der Achtsamkeit und Modelle der Fehlerverarbeitung	42
4. Bewertung des Forschungsstands und Forschungsfragen	45
5. Studie 1: Trait Achtsamkeit und Fehlerverarbeitung	47
5.1 Forschungsfragen	47
5.2 Methode.....	48
5.2.1 Stichprobe	48
5.2.2 Simon-Aufgabe.....	48
5.2.3 Elektrophysiologische Datenerhebung	52
5.2.4 Fragebögen	55
5.2.5 Statistik	56

5.3	Ergebnisse	56
5.3.1	Selbstberichte.....	56
5.3.2	Verhaltensleistungen	56
5.3.3	Ereigniskorrelierte Potentiale	60
5.4	Diskussion	65
5.5	Einschränkungen und Übergang zur Studie 2	69
6.	Studie 2: Achtsamkeitstraining und Fehlerverarbeitung.....	71
6.1	Forschungsfragen	71
6.2	Methoden.....	72
6.2.1	Stichprobe	73
6.2.2	Ablauf der Studie.....	74
6.2.3	Achtsamkeitstraining versus Progressive Muskelrelaxation	74
6.2.4	Datenerhebung.....	76
6.2.5	Fragebögen	77
6.2.6	Statistik	79
6.3	Ergebnisse	80
6.3.1	Selbstberichte und Manipulation Check.....	80
6.3.2	Verhaltensleistungen	84
6.3.3	Ereigniskorrelierte Potentiale	87
6.4	Diskussion	91
6.5	Einschränkungen und Ausblick.....	94
7.	Allgemeine Diskussion.....	96
7.1	Fehlerverarbeitung und Achtsamkeit	97
7.2	Ausblick für zukünftige Meditationsforschung.....	101
7.3	Fazit	103
	Tabellenverzeichnis.....	104
	Abbildungsverzeichnis.....	106
	Literaturverzeichnis.....	109
	Anhang A: Untersuchungsmaterialien.....	121
A.1	Übersetzter Fragebogen: PHLMS	121
A.2	Übungsbuch für Achtsamkeitsmeditation und PMR.....	123
	Anhang B: Statistische Auswertungen.....	137
	Danksagungen.....	143

1. Einleitung

“Time passes unhindered. When we make mistakes, we cannot turn the clock back and try again. All we can do is use the present well.”

(S. 233, Bstan-'dzin-rgya-mtsho, Tenzin Gyatso, the Fourteenth Dalai Lama of Tibet, 1999)

Im Sich Verhalten in der Welt und in der Ausführung von Handlungen können Fehler passieren. Man kann beim Schreiben dieser Sätze die falsche Taste drücken, man kann danebengreifen, wenn man nach seiner Tasse Tee greift, oder wenn man die Treppe herunterläuft, kann es vorkommen, dass man stolpert und fällt. Simple automatisierte Bewegungsausführungen verlaufen meist fehlerfrei durch permanente exekutive Kontrolle. Performanzüberwachung ist deshalb ein wichtiger Aspekt von Verhaltensausführungen. Die Entdeckung von Fehlern und das Korrigieren von Handlungen sind dabei im Alltag grundlegend: man korrigiert beim nächsten Tippfehler mit der Rücktaste oder läuft achtsamer die Treppe herunter. Doch was bedeutet „achtsamer“? Im Hier und Jetzt mit Aufmerksamkeit anwesend sein ermöglicht die bewusste Kontrolle von Handlungen und die Entdeckung von Fehlern, während ein Nachsinnen über die Vergangenheit oder Grübeln über die Zukunft eine fokussierte Aufmerksamkeit auf das momentane Verhalten verhindern. Selbst-gesteuerte, anhaltende Aufmerksamkeit auf das unmittelbare Erleben und emotionale Akzeptanz aller aufkommenden Eindrücke und Gedanken sind die definierenden Komponenten der Achtsamkeit (Bishop et al., 2004).

Ziel dieser Arbeit ist die Verarbeitung von Fehlern im Zusammenhang mit dem Trait Achtsamkeit und dem Training von Achtsamkeit durch Meditation zu untersuchen. Dabei soll beantwortet werden, inwiefern Fehlerverarbeitung von Achtsamkeit beeinflusst wird.

Dazu werden in Kapitel 2 zunächst die neurophysiologischen Korrelate, Fehlernegativität und –positivität, die im Zusammenhang mit Ausführungsfehlern gefunden wurden, beschrieben und in verschiedene theoretische Modelle der Fehlerverarbeitung und der Performanzüberwachung integriert. Mehr oder weniger abhängig von dieser theoretischen Modellierung wurden die Fehlerkorrelate je nach empirischer Datenlage verschiedener Untersuchungen unterschiedlich interpretiert. Bisher konnte noch keine Erklärung der Komponenten gefunden werden, die den Ablauf der Performanzüberwachung umfassend begründet.

Kapitel 3 umfasst eine Einführung in die aktuelle Forschungslage zu Achtsamkeit. Achtsamkeit kann unterschiedlich definiert werden, je nachdem, ob das Konzept in der klinischen Psychologie oder aus buddhistischer Tradition verwendet wird. Mit Hilfe von verschiedenen Meditationstechniken kann Achtsamkeit trainiert werden und Trait Achtsamkeit kann über verschiedene Fragebögen erhoben werden. Die empirische Datenlage zu Achtsamkeit in Bezug auf Performanzüberwachung und Fehlerverarbeitung ist noch nicht gesättigt. Dennoch wurden aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen verschiedene Modelle der Achtsamkeit und Meditation entworfen, die in Beziehung zu den Modellen der Fehlerverarbeitung gestellt werden können.

Aus Sichtung der empirischen Forschung zu Achtsamkeitseffekten und in Zusammenhang mit den Modellen der Fehlerverarbeitung können einige Forschungsfragen abgeleitet werden, die in Kapitel 4 vorgestellt werden. Daraus entwickelt und in Kapitel 5 beschrieben, wurde zunächst Studie 1 entworfen, in der mit Hilfe einer Reaktionsaufgabe Fehlernegativität und – positivität mit dem Elektroenzephalogramm (EEG) erhoben und Trait Achtsamkeit mit Hilfe von Achtsamkeitsfragebögen erfasst wurden. So konnte ein Zusammenhang zwischen der Fehlernegativität und Achtsamkeit festgestellt werden. Aus den Ergebnissen mündete Studie 2, beschrieben in Kapitel 6, welche das Training von Achtsamkeit zum Fokus hat. Vor und nach einem vierwöchigen Training von Achtsamkeitsmeditation im Vergleich zum aktiven Kontrollgruppentraining Progressiver Muskelrelaxation erfolgte die Bearbeitung der gleichen Reaktionsaufgabe wie in der Studie 1 und die Erhebung von verschiedenen Fragebogendaten zur multimodalen Datenerhebung. Zum Abschluss der vorliegenden Arbeit in Kapitel 7 werden die Ergebnisse der beiden Studien zusammengebracht und in den Rahmen vorheriger Untersuchungen integriert. Ein Ausblick für zukünftige Meditationsforschung soll abschließende Anregungen bieten.

2. Was ist Fehlerverarbeitung?

Um Verhalten und seine Überwachung und Korrektur erklären und vorhersagen zu können, können Ausführungsfehler betrachtet werden, um daraus Schlüsse zu ziehen, wie fehlerfreie Ausführung abläuft. Aus diesen Erkenntnissen wurden verschiedene kognitionspsychologische Modelle entwickelt.

In diesem Abschnitt werden die Prozesse während und nach Ausführungsfehlern fokussiert. Wenn ein Verhalten fehlerhaft ist, kann man einen interessanten Einblick in die Prozesse erhalten, die während fehlerfreien Verhaltens ablaufen. Forschung an neurophysiologischen Korrelaten der Fehlerverarbeitung und Performanzüberwachung hilft die neuronalen Prozesse zu verstehen. Dazu werden *ereigniskorrelierte Potentiale* (ERP) mit dem EEG gemessen, während die Probandin simple Reaktionsaufgaben bewältigt und dabei Fehler macht. Die Ergebnisse in diesen Studien können einerseits dazu verwendet werden um Modelle neuronaler Netzwerke der Performanzüberwachung zu entwickeln, andererseits um theoretische Modelle zu beurteilen.

2.1 Neurophysiologische Korrelate der Fehlerverarbeitung

Um Fehlerentdeckung zu untersuchen, werden meist psychophysiologische Korrelate fehlerhafter Antworten betrachtet. Ein früher Prozess der Fehlerverarbeitung wird indiziert durch die *Fehlernegativität* (*error negativity* oder *error-related negativity*, Ne/ERN; Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann, & Blanke, 1991; Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993), einer Komponente eines ERP, die durch einen negativen Peak etwa 100 ms nach einer fehlerhaften Antwort gekennzeichnet ist. Eine ähnliche, meistens in ihrer Amplitude kleinere, Komponente konnte auch nach richtigen Antworten beobachtet werden (Coles, Scheffers, & Holroyd, 2001; Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000). Diese wird als *correct response negativity* (CRN; Ford, 1999) bezeichnet. Mit Hilfe zahlreicher Lokalisationsstudien (z.B. Dehaene, Posner, & Tucker, 1994; Holroyd, Dien, & Coles, 1998; van Veen & Carter, 2002; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004) konnte der anteriore cinguläre Cortex (ACC) als neuronale Quelle der Ne/ERN nachgewiesen werden. Sie wird üblicherweise an der FCz gemessen (Wessel, 2012). Ein späterer Prozess der Fehlerverarbeitung wird indiziert durch die *Fehlerpositivität* (*error positivity*, Pe; Falkenstein et al., 2000; Vocat, Pourtois & Vuilleumier, 2008), einer Komponente eines ERP, charakterisiert durch einen positiven Peak

etwa 300 ms nach einer fehlerhaften Antwort und posterior von der Ne/ERN an der Mittellinie des Scheitels bei Cz gelegen.

2.2 Modelle der Fehlerverarbeitung und Fehlerentdeckung

In der folgenden Tabelle sind die gängigen bisherigen Modelle der Fehlerverarbeitung und Performanzüberwachung aufgelistet, die neurophysiologische Korrelate in einem theoretischen Rahmen erklären (Tabelle 1). Bisher gibt es noch kein integratives Modell, das den gesamten Prozess der Performanzüberwachung neurophysiologisch einordnet, beginnend mit der Wahrnehmung widersprüchlicher Stimuli (N2, erstmals von Sutton, Braren Zubin & John, 1965; Übersicht von Folstein und Van Petten, 2008; P300, erstmals entdeckt von Sutton et al., 1965, Übersicht von Polich & Kok, 1995), folgend durch eine fehlerhafte Antwort auf diese (Ne/ERN und Pe) und Empfangen eines negativen Feedbacks nach der Reaktion, dass ein Fehler gemacht wurde (fERN, erstmals von Miltner, Braun & Coles, 1997; Übersicht von Nieuwenhuis, Holroyd, Mol & Coles, 2004). Auch die interindividuellen Unterschiede innerhalb dieses Prozesses wurden in den meisten der derzeitigen Modelle nicht berücksichtigt. Interindividuelle Unterschiede in den Prozessen der Fehlerverarbeitung zeigen sich in Unterschieden in Amplitudenhöhe und Latenz der ERP. Schließlich konnten zwar bisher dopaminerge und serotoninerge Einflüsse auf die Performanzüberwachung gefunden werden (Fallgatter et al., 2004; Holroyd & Coles, 2002), jedoch wurden auch diese bisher nicht optimal in die theoretischen Modelle mit einbezogen. So bietet bisher keines der Modelle eine Einbindung der serotoninergen Einflüsse in den theoretischen Rahmen.

Tabelle 1: Übersicht verschiedener Modelle der Performanzüberwachung. Welche theoretischen Modelle Erklärungen für verschiedene neuronale Komponenten der Performanzüberwachung und für deren interindividuelle Unterschiede bieten, und dabei dopaminerge und/oder serotoninerge Einflüsse berücksichtigen, wird durch ein X indiziert.

<i>Modell</i>	<i>Modell bietet Erklärung für...</i>					Interindividuelle Unterschiede	Dopaminerge Einflüsse	Serotoninerge Einflüsse
	N2	Ne/ ERN	fERN	P300	Pe			
Mismatch-Theorie ^a	-	X	-	X	-	-	-	-
Theorie der Konflikt- überwachung ^b	X	X	-	-	-	-	-	-
Verstärkungslernen ^c	-	X	X	-	-	-	X	-
Predicted Response- Outcome Modell ^d	-	X	X	-	-	X	X	-
Verstärkungs-Konflikt- basierte Kontrolle ^e	X	X	X	-	-	X	X	-
Perzept- und Objektbasierte Fehlerverarbeitung ^f	-	X	-	-	X	-	-	-

^a Falkenstein et al., 1991; ^b Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter & Cohen, 1999; ^c Holroyd & Coles, 2002; ^d Alexander & Brown, 2011; ^e Zendehrouh, Gharibzadeh & Towhidkhah, 2014; ^f Gibbons, Fritzsche, Bienert, Armbrrecht & Stahl, 2011

Üblicherweise wird Performanzüberwachung anhand einfacher Reaktionsaufgaben empirisch untersucht, bei deren Bearbeitung die ProbandIn entweder mit einem EEG oder anderen bildgebenden Verfahren, wie funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), beobachtet wird. Es wurden verschiedene Reaktionsaufgaben entwickelt, die im besonderen Maße zu Fehlern führen, und die zur Überprüfung der Modelle der Performanzüberwachung verwendet wurden. Im Folgenden werden die Aufgaben beschrieben, damit der Aufbau der Modelle, beschrieben in den nächsten Abschnitten, nachvollziehbar ist.

Eine dieser Aufgaben ist die *Flanker-Aufgabe* (Holroyd, Yeung, Coles, & Cohen, 2005). Hier werden zum Beispiel fünf Buchstaben präsentiert und die Aufgabe ist dabei, nur auf den

mittleren Buchstaben mit Knopfdruck zu reagieren (für ein „S“ mit rechtem Zeigefinger drücken, für ein „H“ mit linkem Zeigefinger drücken). Die Reihe der Buchstaben ist entweder kompatibel („HHHHH“ oder „SSSSS“) oder inkompatibel („HHSHH“ oder „SSHSS“). In der inkompatiblen Bedingung entsteht ein Reaktionskonflikt, also die simultane Aktivierung zweier Reaktionsmöglichkeiten, und Handfehler können eher vorkommen. Eine weitere Aufgabe, die einen starken Reaktionskonflikt verursacht, ist die *Stroop-Aufgabe* (Stroop, 1935), bei der Farbbezeichnungen in bestimmten Farben präsentiert werden und die Aufgabe ist, die Farbe zu benennen und nicht das Wort zu lesen. Wenn der Stimulus inkongruent ist, also die Farbe des Wortes nicht dem Farb-Wort entspricht, kommt es zum Konflikt (siehe auch unten, Abbildung 1). Weitere Aufgaben sind die *Simon-Aufgabe* (Simon, 1969; siehe unten für eine ausführliche Beschreibung), bei der ebenfalls ein Reaktionskonflikt provoziert wird, oder die *Go/No-Go-Aufgabe* (z.B. Donkers & van Boxtel, 2004), bei der nur bei bestimmten Stimuli reagiert werden soll und bei anderen Stimuli nicht reagiert werden darf. So ist der übliche Ablauf der *Sustained Attention to Response Task* (SART, Robertson, Manly, Andrade, Baddeley & Yiend, 1997), dass auf alle Zahlen von 1 bis 10 mit Tastendruck reagiert werden und nur bei Präsentation der Zahl „3“ (nur diese Ziffer wird von Robertson und KollegInnen als Target verwendet) die Ausführung zurückgehalten werden soll. Hierbei ist der Konflikt, dass die häufiger stattfindende Reaktion des Tastendrucks zurückgehalten werden muss und eine Nicht-Handlung gefordert ist. Die Aufgaben sind jeweils so konstruiert, dass Konflikte in der Performanz, also Reaktionskonflikt zwischen zwei Handlungen oder Konflikt zwischen Handlung und Nicht-Handlung, entstehen und somit die Fehlerwahrscheinlichkeit erhöht wird.

2.2.1 Mismatch-Theorie

In der Studie von Falkenstein und KollegInnen (1991) wurde erstmalig die Fehlernegativität als solche bezeichnet und beschrieben. Sie wurde hier klar von der Reduktion der P300 bei Fehlern differenziert, da die Ne/ERN stärker mit der Aufmerksamkeit variierte und im Gegensatz zur Reduktion der P300 in der reaktionsbezogenen Auswertung am stärksten in Erscheinung trat. Die AutorInnen erklärten die Ne/ERN mit ihrer *Mismatch-Theorie* (Falkenstein et al., 1991, später weiterentwickelt durch Gibbons, Fritzsche, Bienert, Armbrrecht & Stahl, 2011, siehe unten), die sie in Anlehnung an die *mismatch negativity* von Näätänen, Gaillard und Mäntysalo (1978) aufstellten. Bei der Antwortauswahl, also der kognitiven Repräsentation des Ergebnisses einer Stimulus-Evaluation zur angemessenen Antwort, kommt es zu einer Diskrepanz zwischen dieser Repräsentation und dem tatsächlichen offenen

Antwortverhalten, was zu schnell ablief, bevor die Stimulus-Evaluation abgeschlossen werden konnte, die nichtsdestotrotz bis zu einer Antwortauswahl weiterläuft. Sie gehen also von einer Diskrepanz zwischen der repräsentierten Antwortselektion und der unspezifischen, da nicht an dem Ausgang der Antwortselektion orientierten, Antwortausführung aus. Die Fehlernegativität kann also erst nach Abschluss der Antwortauswahl auftreten, wird also als Zeit-Marker für den Abschluss dieser angesehen.

2.2.2 Theorie der Konfliktüberwachung

Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter und Cohen (1999) untersuchten das Ausmaß der Aktivierung des ACC bei der Bearbeitung einer Flanker-Aufgabe und stellten die *Theorie der Konfliktüberwachung* (Conflict Monitoring) auf, die darauffolgend von verschiedenen AutorInnen mit unterschiedlichen Schwerpunkten untersucht und erweitert wurde. Die Aktivierung des ACC korrelierte positiv mit dem Ausmaß des Konflikts, den der Stimulus verursacht (Botvinick et al., 1999). Die inkompatiblen Reize der Flanker-Aufgabe führen zu einem Reaktionskonflikt (siehe oben), insbesondere wenn sie auf eine kompatible Reizdarbietung folgen, sichtbar durch eine stärkere Aktivierung des ACC im Vergleich zu inkompatiblen Reizen, die nach inkompatiblen Reizen folgen (Botvinick et al., 1999). Kompatible Reize, unabhängig vom Kontext, führen zu keinem Konflikt und damit zu weniger Fehlern und einer geringeren Aktivierung des ACC. Das Prozessmodell der Theorie der Konfliktüberwachung von Botvinick, Braver, Carter, Barch und Cohen (2001) beinhaltet Kontrollprozesse, die Zugang zu den Informationen darüber haben, wie viel Kontrolle je nach Ausmaß des Reaktionskonflikts oder des Konflikts zwischen Repräsentationen nötig ist, und über Top-down-Prozesse verwendet wird und eine evaluative Komponente, die die Informationsverarbeitung überwacht. Wie viel Bedarf zur Kontrolle und damit Bedarf an Aufmerksamkeit nötig sind, ist Funktion einer Konfliktüberwachung im ACC: je aktiver der ACC, desto stärker der Status der kognitiven Kontrolle. Der ACC ist für die Entdeckung eines Konflikts zuständig, also weder spezifisch für die Fehlerentdeckung noch direkt für die Regulation der Kontrolle. Die Kontrollregulation schreiben Carter und van Veen (2007) dem dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) als Aufgabe zu. Sie beschrieben die Theorie der Konfliktüberwachung mit Hilfe der Stroop-Aufgabe. Sowohl Farbe als auch Wort aktivieren Antworten, die sich bei inkongruentem Stimulus widersprechen und es entsteht ein Konflikt. Dieser wird vom Konflikt-Überwacher im ACC entdeckt und aktiviert damit die

Kontrollfunktion des DLPFC, der wiederum die Aufmerksamkeitsprozesse verstärkt und auf die Farbe des Wortes ausgerichtet ist (siehe Abbildung 1).

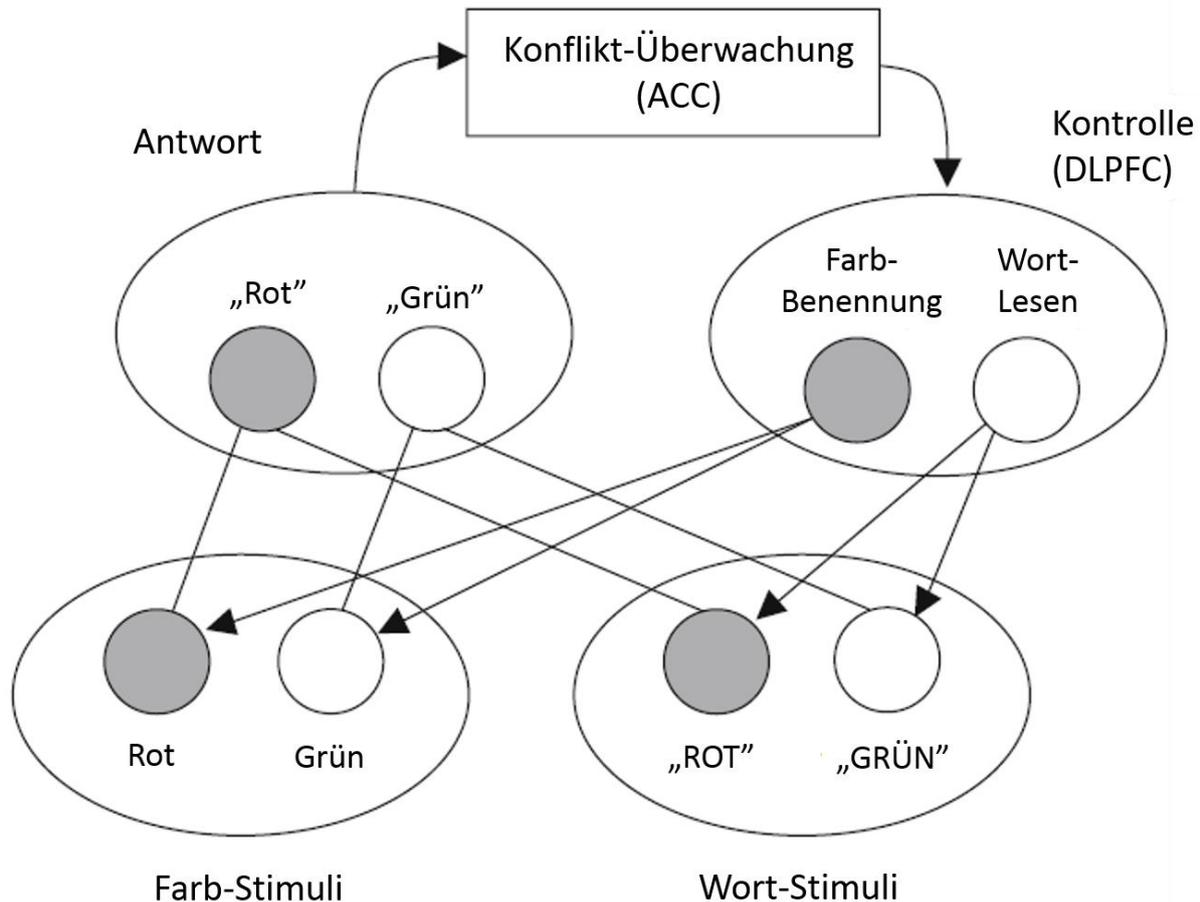


Abbildung 1: Konflikt-Überwachung bei Stroop-Aufgabe mit Konflikt-Überwacher im anterioren cingulären Kortex (ACC) und Kontrollfunktion des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC), nach Carter und van Veen (2007, S. 368).

Auch Yeung, Botvinick und Cohen (2004) verwendeten die Theorie der Konfliktüberwachung und testeten mit Hilfe von verschiedenen Simulationen, ob die Ne/ERN mit Hilfe der Theorie richtig vorhergesagt wurde und inwiefern auch die N2 dabei erklärt werden kann. Sie verwendeten die oben beschriebene Flanker-Aufgabe (siehe Abbildung 2).

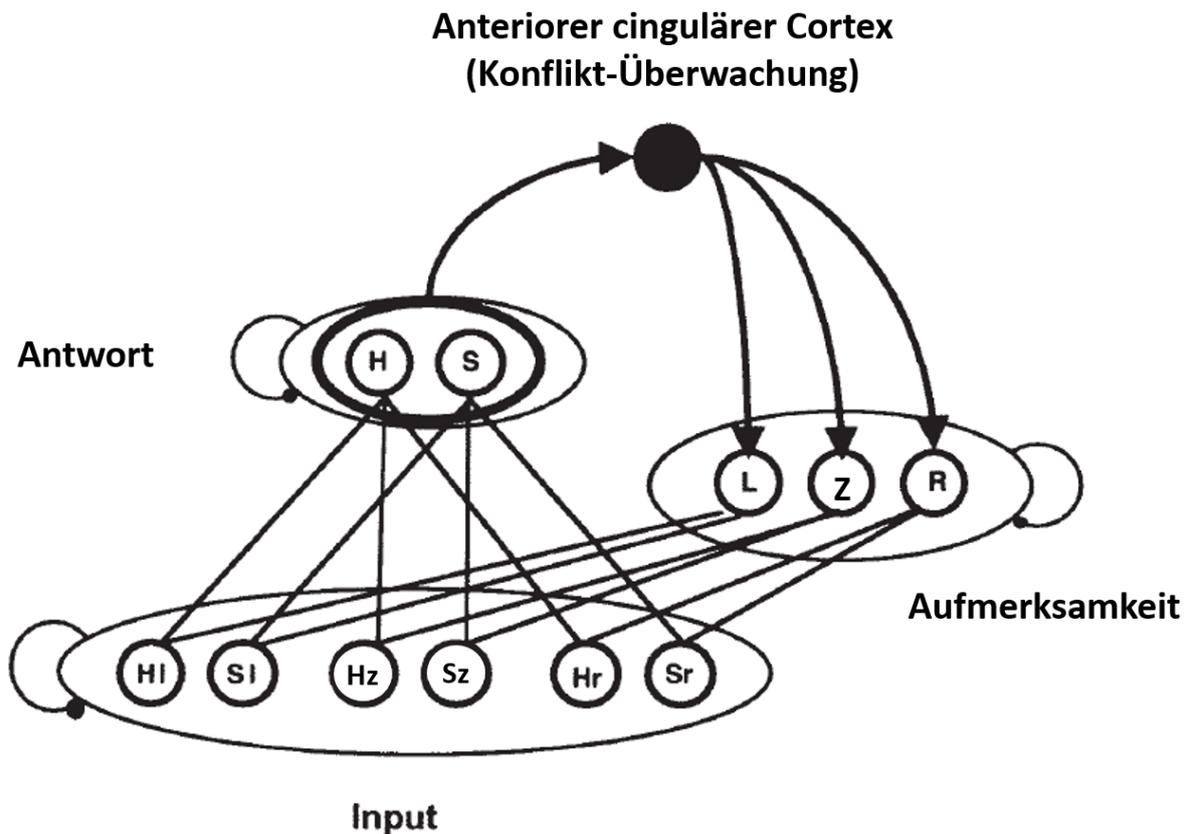


Abbildung 2: Modell der Konflikt-Überwachung bei der Flanker-Aufgabe, nach Yeung und KollegInnen (2004, S. 935). Hz steht für die Präsentation des Buchstaben H im Zentrum (z), Sz für S im Zentrum. Die Flanker-Buchstaben links (l) und rechts (r) werden jeweils mit Hr, HI, Sr und SI gekennzeichnet.

Die Ne/ERN spiegelt den Konflikt nach der Antwortabgabe (entweder S oder H) als Konsequenz einer weiteren Verarbeitung des Reizes wider. Es wird also noch nach der falschen Antwort die richtige Antwort aktiviert und damit ein Konflikt zwischen der richtigen und falschen Antwort erzeugt. Dieser wird vom ACC entdeckt und führt zur Steigerung der Aufmerksamkeit auf den mittleren Reiz (Z). Die Vorhersagen dieser Theorie für die Ne/ERN konnte mit den Simulationen bestätigt werden. Auch die N2 wird von Yeung und KollegInnen (2004) als Korrelat eines Konfliktprozesses beschrieben, denn sie ist wie die Ne/ERN bei inkongruenten Reizen in der Flanker-Aufgabe größer. Die N2 findet zeitlich jedoch vor Antwortabgabe statt und geht demnach der Ne/ERN voraus, hat aber einen sehr ähnlichen neuronalen Ursprung und stellt damit ebenfalls den Konfliktüberwachungsprozess dar.

Die AutorInnen Yeung und KollegInnen (2004) schlossen nicht aus, dass Ne/ERN auch affektive Aspekte der Fehlerverarbeitung widerspiegelt. Konsequenzen von Konfliktentdeckung haben immer eine Funktion für affektive Reaktionen. So kann ein anhaltender Konflikt irgendwann zu einer motivationalen Ablösung von der Aufgabe, genannt

Disengagement, führen, das durch ein Gefühl der Frustration zum Ausdruck gebracht wird. Konfliktüberwachung und affektive Verarbeitung sollten also nicht getrennt betrachtet werden.

2.2.3 Theorie des Verstärkungslernen

Ein weiteres Modell zur Erklärung der Ne/ERN und auch des dopaminergen Einflusses bietet die *Theorie des Verstärkungslernen* (Reinforcement Learning) von Holroyd und Coles (2002), erweitert durch Holroyd und KollegInnen (2005, siehe Abbildung 3) bestehend aus zwei Komponenten: dem *Akteur* (auch *Aufgabenmodul* genannt), welcher offenes Verhalten in Antwort auf einen externalen Input produziert, und dem *Kritiker* (auch *Überwachungsmodul* genannt), welcher den Output des Akteurs im Aufgabenkontext beurteilt, den Akteur bei erfolgreicher Performanz verstärkt und bei schlechter Performanz bestraft.

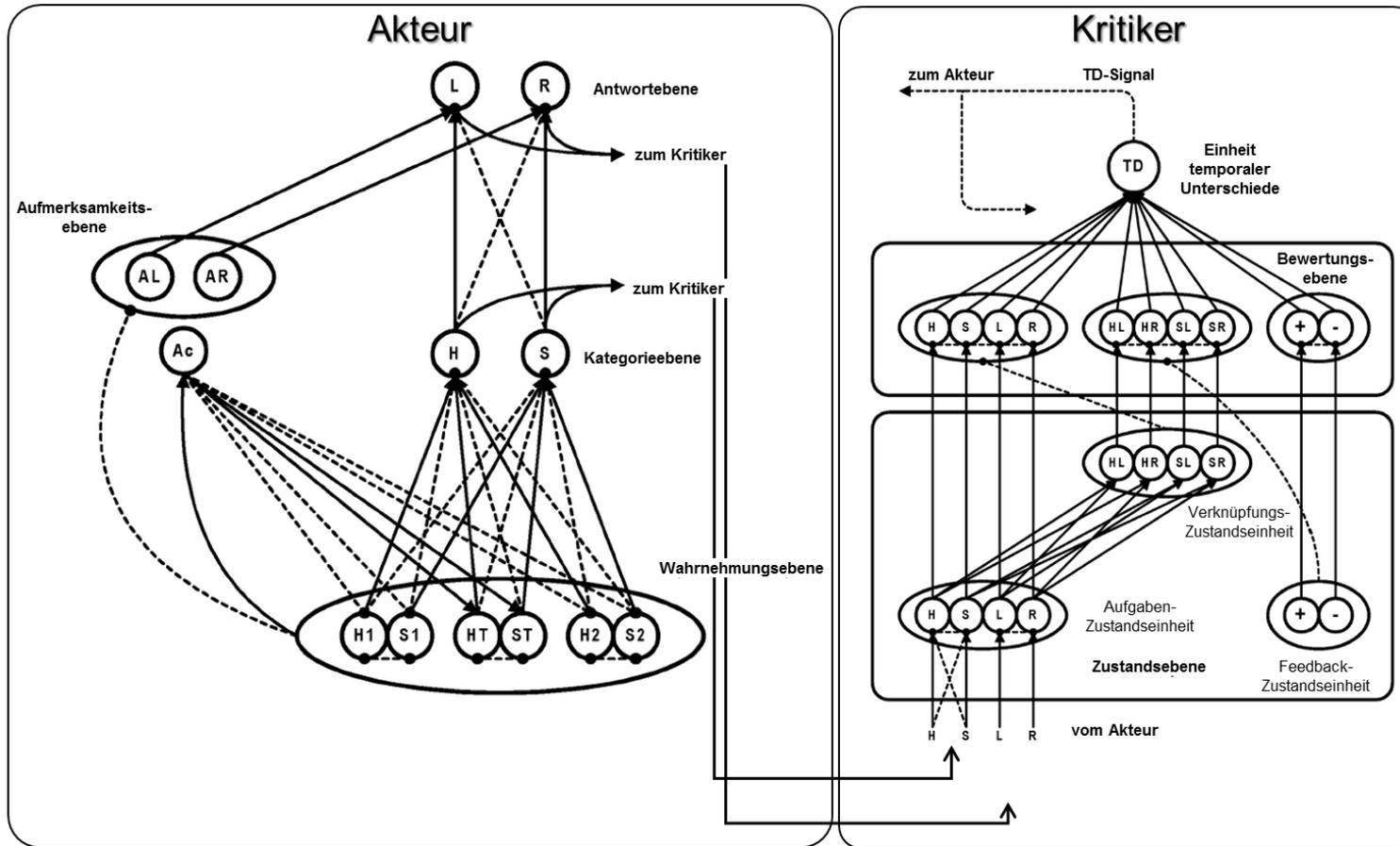


Abbildung 3: Akteur (auch Aufgabenmodul genannt) und Kritiker (auch Überwachungsmodul genannt) bei Bearbeitung der Flanker-Aufgabe, angelehnt an Holroyd und KollegInnen (2005, S. 173, S. 174 und S. 178). HT und ST sind die jeweiligen Target-Buchstaben H und S, H1, S1, H2 und S2 sind die jeweiligen Flanker-Buchstaben. L und R bezeichnen jeweils die Antwort mit der linken bzw. rechten Hand. AL und AR sind die Einheiten, die die Aufmerksamkeit mit der Antwort (Links bzw. Rechts) verknüpfen.

Der Kritiker erhält stimulus-relevante Informationen, einerseits bezogen auf das externe Ereignis, andererseits antwort-bezogene Informationen an Hand des Verhaltens, das durch den Akteur produziert wurde. Mit Hilfe dieser Informationen kann der Kritiker den Ereignissen einen Güte-Wert zuschreiben. Der Kritiker entdeckt unmittelbare Veränderungen der Güte-Werte (*temporale Unterschiede, temporal difference, TD*; Sutton, 1988) und schickt diese TD-Signale zurück zum Akteur, so dass den Aufgaben angemessenes Verhalten verstärkt und unangemessenes Verhalten gelöscht werden kann. Diese Signale werden über das mesencephale Dopamin-System gesteuert. Die TD-Signale werden ebenfalls vom Kritiker selbst genutzt, um die Güte-Werte besser zu schätzen. Positive TD-Signale bedeuten, dass das Ereignis besser als erwartet ist. Ein Null-Signal bedeutet, dass im Moment kein Lernen nötig ist. Ein negatives TD-Signal bedeutet, dass ein ungünstiges Ereignis eingetreten ist, das der Kritiker nicht vorhergesehen hat, man kann hier von Vorhersagefehlern sprechen. In diesem Fall muss das Verhalten und die Schätzung der Güte-Werte angepasst werden und eine Ne/ERN wird produziert.

Wenn man sich nun die Bearbeitung einer Flanker-Aufgabe vorstellt (Holroyd et al., 2005, siehe Abbildung 3), besteht der Akteur aus unterschiedlichen Ebenen. Zunächst gibt es eine *Wahrnehmungsebene*, die den externalen Input („HSHH“) in das System enkodiert. Die *Kategorie-Ebene* bestimmt darauf die Identität des Zielstimulus an Hand der Aktivität der Wahrnehmungsebene („S“). Eine *Antwortebene* generiert dann einen Antwortbefehl, indem sie passend zur Aktivität der Kategorie-Ebene die Stimulus-Antwort-Zuordnung verwendet („S“ – Druck des rechten Zeigefingers). Und letztlich gibt es eine *Aufmerksamkeitsebene*, die den Prozess der Kategorisierung erleichtert, indem sie die Aktivität auf der Wahrnehmungsebene, die mit dem Zielstimulus assoziiert ist („S“) steigert, während sie die Aktivität auf der Wahrnehmungsebene assoziiert mit den Flanker-Stimulus („HHHH“) inhibiert. Der Kritiker hingegen besteht aus einer *Zustandsebene*, die den Zustand des Systems zu jedem Zeitpunkt feststellt und dabei für jede Aufgabe Repräsentationen der Identität von Zielstimulus („S“) und ausgeführter Antwort (Druck des rechten Zeigefingers) und von der Verknüpfung von Stimulus und Antwort („S“ – Druck des rechten Zeigefingers) generiert. Die *Bewertungsebene* attribuiert dem aktuellen Zustand eine Wahrscheinlichkeit zu, ob die Aufgabe erfolgreich bewältigt wird oder nicht (Güte-Werte). Die TD-Einheit bestimmt das TD-Signal, also das Signal des unmittelbaren Wechsels der Güte-Werte verknüpft mit dem Übergang zwischen verschiedenen Systemzuständen. Dieses Signal wird dopaminerg vermittelt.

2.2.4 Predicted Response-Outcome Modell

Das Modell vorhergesagter Antwort-Ergebnis-Kombinationen (*Predicted Response-Outcome*, *PRO-Modell*, Alexander & Brown, 2011, siehe Abbildung 4) ist mit dem Verstärkungslernmodell vergleichbar, da ebenfalls Verknüpfungen gelernt werden und Verstärkung und Bestrafung erfolgen, unterscheidet sich jedoch auf vier Arten.

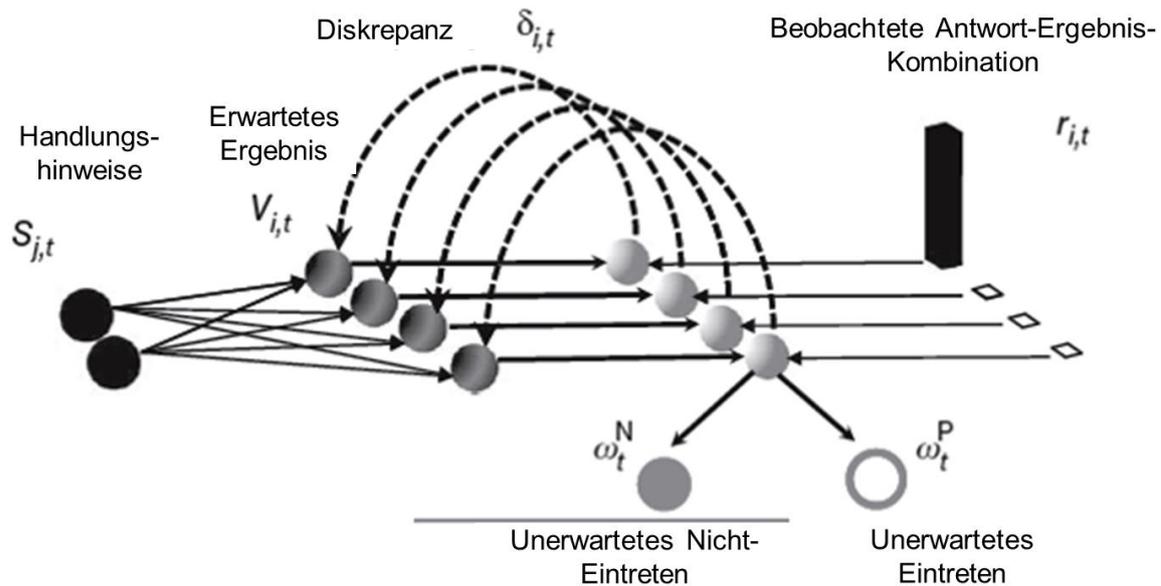


Abbildung 4: Predicted Response-Outcome, PRO-Modell, nach Alexander und Brown (2011, S. 1339). S ist dabei der aufgabenrelevante Stimulus, V ist die Vorhersage, δ ist das TD-Signal (Signal temporalen Unterschieds, temporal difference), was sich in eine positive (ω^P) und negative Komponente (ω^N) aufteilen lässt. r ist die beobachtete Antwort-Ergebnis-Kombination. t indiziert den jeweiligen Zeitschritt, i eine von möglichen Ergebnissen.

Erstens werden keine Stimulus-Antwort-Verknüpfungen gelernt, sondern es werden anhand vorhandener Handlungspläne im Stimulus-Kontext Vorhersagen zu Antworten und Vorhersagen zu aus den Antworten wahrscheinlich resultierender Ergebnisse getroffen. Es kommt also zu einem Antwort-Ergebnis-Lernen, statt einem Stimulus-Antwort-Lernen. Zweitens gibt es keine skalaren TD-Signalwerte, sondern vektorwertige Vorhersagen, die multiple mögliche Ergebnisse überwachen, was eine simultane Vorhersage verschiedener möglicher Handlungsausgänge inklusive ihrer Wahrscheinlichkeit gestattet. Diese Vorhersagevektorfehler repräsentieren unerwartete Ereignisse (positive Werte) oder unerwartete Nicht-Ereignisse (negative Werte) unabhängig davon, ob diese Ereignisse aversiv oder belohnend sind (im Gegensatz zu den positiven und negativen TD-Signalen der Theorie des Verstärkungslernens, bei denen nur das negative TD-Signal ein Vorhersagefehler für ein

aversives Ereignis ist). Es gibt also drittens keine üblichen Belohnungs- oder Bestrafungssignale. Das Vektorsignal reflektiert lediglich die Kombination von tatsächlicher Antwort und möglichem Ergebnis. Die Vorhersagen dieser Kombinationen werden proportional zu ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit getroffen. Viertens und letztens werden korrigierte negative Vorhersagefehler entdeckt, es werden also Signale für das Nichteintreten eines erwarteten Ereignisses generiert, z.B. wenn eine Belohnung unerwartet ausbleibt. Es wird also das tatsächliche Ereignis mit der Wahrscheinlichkeit für die erwartete Antwort-Ereignis-Kombination verglichen. Diese negative Überraschung zeigt sich in der Ne/ERN.

2.2.5 Integrativer Modellansatz: Verstärkungs-Konflikt-basierte Kontrolle

In neueren Ansätzen wurde versucht, vorherige Modelle miteinander zu verbinden. So haben Zendehrouh, Gharibzadeh und Towhidkhah (2014) das Verstärkungslernmodell und das Konfliktüberwachungsmodell verknüpft, um Fehlerentdeckung im ACC zu erklären (siehe Abbildung 5).

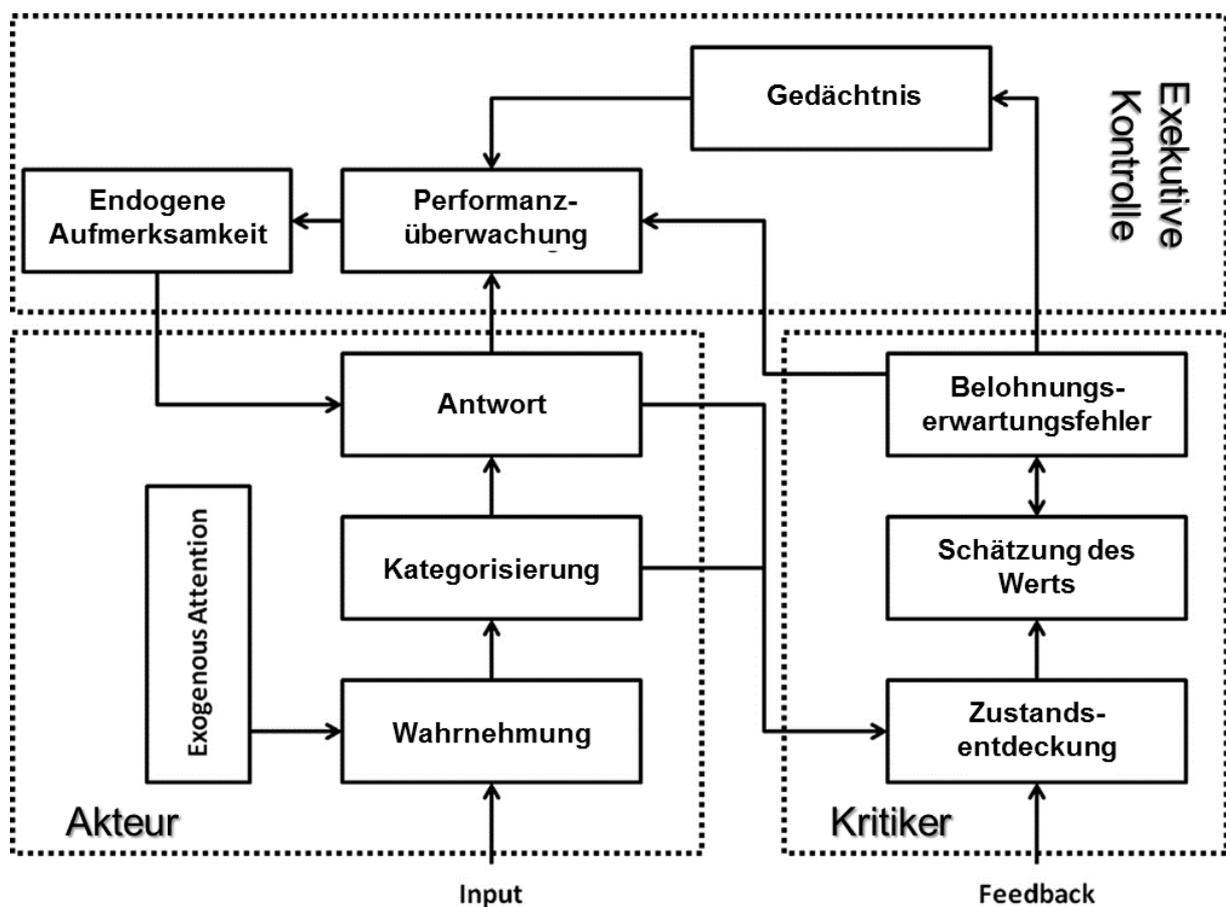


Abbildung 5: Integratives Modell, nach Zendehrouh und KollegInnen (2014, S. 141).

Dabei wurde das Modell der Verstärkungslerntheorie von Holroyd und KollegInnen (2005) ergänzt durch ein Modul der exekutiven Kontrolle, das an die Theorie der Konfliktüberwachung (Botvinick et al., 2001) angelehnt ist. Das Modul der exekutiven Kontrolle enthält eine Funktion zum Feststellen des Bedarfs an Kontrolle und zur Implementierung von Kontrolle. Konfliktsignale bestimmen dabei den Bedarf und somit den Fokus und das Ausmaß der Aufmerksamkeit. Dopaminerge Belohnungserwartungssignale werden dabei verwendet, um den Aufmerksamkeit-Bias zu verändern. Das integrative Modell wurde über Simulationen getestet und konnte im Vergleich zu den beiden einzelnen Modellen bessere Vorhersagen treffen.

2.2.6 Perzept- und objektbasierte Fehlerverarbeitung

Ein weiterer Ansatz zur Erklärung von Fehlerentdeckung und dabei auch eine Erklärung der späteren Komponente P_e ist die Unterscheidung zwischen *perzept- und objektbasierter Fehlerverarbeitung* (Gibbons et al., 2011) anhand experimentaler Dissoziation von N_e/ERN und P_e . Sie stellt eine Erweiterung der Mismatch- Theorie (Falkenstein et al., 1991) und der Theorie des Verstärkungslernen (Holroyd & Coles, 2002) dar. Die Theorie ist der Mismatch- Theorie ähnlich, bei der jedoch die Repräsentationen der korrekten und der tatsächlich gegebenen Antwort verglichen werden, während hier ein Vergleich auf verschiedenen Ebenen der Stimulus-Repräsentation und nicht nur auf Antwort-Ebene stattfindet. Die AutorInnen differenzieren drei Ebenen der Repräsentation: Perzept, Objekt und Antwort. Während ein Perzept eine Abbildung von noch nicht integrierten visuellen Merkmalen im primären visuellen Kortex ist, ist ein Objekt eine Abbildung der Information integrierter visueller Merkmale in höheren visuellen Verarbeitungsbereichen des Gehirns. Wenn also ein Stimulus präsentiert wird, wird zunächst das Perzept aktiviert. Sollte der Stimulus überschwellig, also durch ausreichende Präsentationsdauer sichtbar (die AutorInnen nutzten ein Maskierungsparadigma), sein, kommt es zur Repräsentation des dazugehörigen Objekts. Danach kann die geeignete Antwort ausgewählt werden und es kommt zu einer spezifischen Antwortaktivierung. Nach einigen Durchgängen kommt es zu einer Verknüpfung von Objekt und Antwort. Wenn in einem Experiment nun alle Stimuli zur gleichen Perzept-Repräsentation führen, kommt es nicht nur zu einer Verknüpfung von Objekt und Antwort, sondern auch von Perzept und Antwort. Bei einem Fehler gibt es deshalb zwei Vergleiche, die zu einer Diskrepanz führen können (tatsächliche vs. erhaltene Repräsentation sowohl auf Perzept- als auch auf Objektebene).

Gibbons und KollegInnen (2011) postulieren, dass sich das Diskrepanz-Ereignis auf Perzept-Ebene in der Ne/ERN widerspiegelt, das auf Objekt-Ebene in der Pe.

2.3 Empirische Ergebnisse zu Fehlernegativität und Fehlerpositivität

Wie die Auflistung der Modelle zeigt, gibt es zahlreiche Erklärungsansätze zu den durch die Ne/ERN und Pe indizierten spezifischen Fehlerverarbeitungsmechanismen, doch die Befundlage zur Interpretation der Fehlerkomponenten ist noch immer nicht eindeutig (für eine Übersicht, siehe Wessel, 2012). Im Folgenden wird die empirische Befundlage den Modellen gegenübergestellt und weitere Interpretationen der Komponenten genannt. Besonders Fehlerpositivität wird in den oben genannten Modellen meist nicht explizit einbezogen, so dass im Folgenden auf weitere Interpretationen zurückgegriffen werden muss.

2.3.1 Interpretationen und Befunde zur Ne/ERN

Scheffers und Coles (2000) beobachteten in ihrer Studie, dass die Ne/ERN für Fehler größer ist, die aufgrund vorzeitiger Beantwortung stattfinden, als für Fehler, die aufgrund begrenzter Informationen stattfinden. Sie deuteten dieses Ergebnis insofern, dass die Ne/ERN ein Fehlersignal ist, dessen Ausmaß von der Qualität der Repräsentation der angemessenen Antwort abhängt und demnach Überwachungsprozesse der Performanz-Genauigkeit abbildet. Sie beobachteten keine größere Ne/ERN für korrekte aber inkompatible Durchgänge im Vergleich zu korrekten kompatiblen Durchgängen. Sie bewerteten dieses Ergebnis, dass die Ne/ERN also nicht Konflikte sondern spezifisch Fehlerentdeckung abbildet. Ihre Interpretation ist also vergleichbar mit der Mismatch-Theorie.

In einer Studie von Scheffers, Coles, Bernstein, Gehring und Donchin (1996) wurden mit Hilfe einer Go/No-Go-Aufgabe zwei Fehlerarten provoziert. Ein Fehler der Auswahl trat dann auf, wenn bei Go-Stimuli die falsche Taste gedrückt wurde und mit einer zweiten motorischen Reaktion korrigiert werden konnte. Ein Fehler der Handlung trat dann auf, wenn bei No-Go-Stimuli eine Taste gedrückt wurde, obwohl dies hätte unterlassen werden sollen, weshalb die Reaktion nicht korrigierbar war. Eine Ne/ERN konnte bei beiden Fehlerarten gleichermaßen beobachtet werden. Ein mögliches Fehlerkorrekturverhalten (nur bei Fehler der Wahl) ist also keine notwendige Bedingung für das Auftreten einer Ne/ERN. Die Ne/ERN ist also nicht unmittelbar assoziiert mit einem Fehlerentdeckungsprozess, der kompensatorisches Verhalten auslöst. Scheffers und KollegInnen (1996) interpretieren die Ne/ERN als Teil des Fehler-

Monitorings, das je nach Aufgabe flexibel an ein Kompensationssystem gebunden ist, und verwenden den Rahmen der Mismatch-Theorie.

Auf die Frage hin, ob die Ne/ERN spezifisch für inkorrekte Antworten ist, wurden zwei Experimente mit einer Wahl-Reaktionszeit-Aufgabe durchgeführt (Vidal, Hasbroucq, Grapperon, & Bonnet, 2000) und dabei Muskelaktivität mit Elektromyographie (EMG) zusätzlich zum EEG erhoben. Richtige Antworten mit frühen schwachen Motoraktivitäten der zur inkorrekten Reaktion assoziierten Hand produzierten kleinere, aber vorhandene Ne/ERN im Vergleich zu fehlerhaften Antworten. Ne/ERN ist deshalb nicht ausschließlich an fehlerhafte Antworten geknüpft und deshalb kein Indikator für Fehlerentdeckung. Die Ergebnisse passen deshalb weniger zur Mismatch-Theorie, die sich auf Fehlerverarbeitung beschränkt, und eher zur Theorie der Konfliktüberwachung. Vidal und KollegInnen (2000) schlossen aus den Ergebnissen, dass die Ne/ERN zwei mögliche Funktionen widerspiegelt: einen Antwortbeurteilungsprozess, auf den erst im zweiten Schritt ein Entdeckungsprozess folgt (offenbart durch die Pe, siehe unten) oder einen emotionalen Prozess, da der ACC in der Kontrolle von automatischen Aktivitäten bezüglich affektiven Verhaltens und Antwortselektion involviert ist (Devinsky, Morell & Vogt, 1995).

Andere Studien zeigten, dass die Ne/ERN sich zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern nicht unterscheidet (z.B. Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blow, Band, & Kok, 2001). Im Gegensatz dazu konnte von Shalgi und Deouell (2012) gezeigt werden, dass bei hoher Sicherheit richtig geantwortet zu haben die Ne/ERN für unentdeckte Fehler in ihrer Amplitudenhöhe die CRN nicht übersteigt und dass nur bei Unsicherheit der Einschätzung es keinen Unterschied zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern gab, die beide jedoch mit einer größeren Ne/ERN im Vergleich zu richtigen Durchgängen verbunden waren.

Die Amplitude der Ne/ERN kann mit Aufmerksamkeit gegenüber der Aufgabe oder Wichtigkeit des Fehlers variieren (Maier, Pellegrino & Steinhauser, 2012). Auch motivationale und emotionale Aspekte der Fehlerverarbeitung können einen Effekt auf die Ne/ERN-Amplitude haben (siehe Review von Weinberg, Riesel & Hajcak, 2012).

2.3.2 Interpretationen und Befunde zur Pe

In den Theorien der Fehlerentdeckung und in den Interpretationen zu Ne/ERN und Pe wird häufig der Begriff des Bewusstseins verwendet. Dabei ist weder in der Psychologie noch in der Philosophie eindeutig geklärt, was Bewusstsein überhaupt ist. Das *harte Problem des*

Bewusstseins ist womöglich eines der schwierigsten Probleme in der Philosophie (Chalmers, 1995). Wir wissen nicht, wie eine befriedigende Lösung des Problems aussehen würde. Nach Chalmers (1995) ist bekannt, dass bewusste Erlebnisse aus einer physikalischen Grundlage heraus entstehen, es gibt jedoch keine Erklärung dafür, wie es zu einem so reichen Erlebniseindruck kommt und warum. Warum führt z.B. die visuelle Informationsverarbeitung eines tiefblauen Himmels unseres kognitiven Systems zu einem visuellen Erleben dieses Himmels? Um dieser Diskussion zu entgehen, ist es hilfreich, zwischen den beiden englischen Begriffen *consciousness* (*Bewusstsein*) und *awareness* (*Gewahrsein*) zu differenzieren und sich nur auf die Verwendung des zweiten zu beschränken. Bewusstsein besteht dabei aus zwei Komponenten: *Gewahrsein* ist Inhalt des Bewusstseins und unterscheidet sich damit von dem Ausmaß des Bewusstseins (*wakefulness*, *Wachheit*). *Bewusstsein* ist nur berichtbar, wenn der Inhalt des Bewusstseins das *Gewahrsein* der Umwelt und des eigenen Zustands ist (Laureys, 2005). Vergleichbar ist der Begriff des *access consciousness*, also *Zugangsbewusstsein*, der lediglich die Berichtbarkeit der ProbandIn bezüglich ihrer bewussten Zustände meint und damit das harte Problem umgeht (Wessel, 2012). Leider wird dennoch in den gängigen Artikeln zur Beschreibung der Funktion der *Pe* der Begriff des „conscious processing“, der bewussten Verarbeitung, verwendet und der Funktion der *Ne/ERN* als Korrelat eines vorbewussten Prozesses gegenübergestellt (Wessel, 2012). Nichtbewusste neuronale Prozesse können vorbewusst oder subliminal sein (Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur & Sergent, 2006). Ein neuronaler Prozess ist dann vorbewusst, wenn er potentiell genug Aktivität für einen bewussten Zugang hat, aber in dem Moment in einem nicht-bewussten Speicher zwischengespeichert wird. Dies kommt vor, wenn es an Top-down-Verstärkung der Aufmerksamkeit mangelt, also wenn beispielsweise der zentrale Arbeitsspeicher gerade ausgelastet ist. Subliminal ist ein Prozess hingegen dann, wenn die Reizdarbietung nicht stark genug ist (Dehaene et al., 2006). Während *Ne/ERN* eher als eine Komponente vorbewusster und nicht subliminaler Fehlerentdeckung interpretiert wird, wird die *Pe* als Manifestation bewusster Fehlerentdeckung angesehen. Schon Falkenstein und KollegInnen (1991) beschrieben eine Fehlerpositivität (als eine „slow wave“, d.h., eine zweite P300) als mögliche bewusste Fehlerbewertung, während die *Ne/ERN* eine eventuell vorbewusste Diskrepanz zwischen der offenen Antwort und dem Ergebnis der Antwortselektion abbildete. Dennoch integrierten die AutorInnen diesen Befund nicht in ihre Mismatch-Theorie.

Der Prozess der Fehlerentdeckung ist also bei vorhandener Ne/ERN und fehlender Pe potentiell zugänglich, es wird aber momentan nicht bewusst auf ihn zugegriffen. Zu dieser Interpretation kommen auch Hewig, Coles, Trippe, Hecht und Miltner (2011), wenn sie schreiben, dass die Ne/ERN ohne Pe auftritt, wenn Fehler vom medialen frontalen Monitoring-System entdeckt wurden, diese Informationen aber nicht aufgrund von starker Auslastung oder unmittelbarem Korrekturverhalten in das bewusste System transferiert werden. Dabei nutzen sie die Mismatch-Theorie lediglich zur Erklärung ihrer Befunde bezüglich der Ne/ERN und nicht der Pe.

Doch wie kommt es überhaupt dazu, dass ein Fehler unentdeckt bleibt? Ullsperger, Harsay, Wessel und Ridderinkhof (2010) nennen fünf mögliche Ursachen. Erstens kann der Reiz an sich mehrdeutig sein oder Aufmerksamkeitsschwankungen bei einer zu kurzen Reizdarbietung können dazu führen, dass der Fehler nicht reliabel entdeckt werden kann. Zweitens kann es sein, dass die Aufgabe nicht korrekt repräsentiert ist oder die Aufgabenregeln sind zu komplex, um sie vollständig zu aktivieren. Drittens kann eine Efferenz-Kopie, das propriozeptive Feedback oder der sensorische Input einer Handlung, ungenügend für eine bewusste Fehlerwahrnehmung sein. Viertens kann die Evidenzakkumulation zur Fehlerentdeckung an einem schlechten Verhältnis von Signal und Rauschen durch Interaktionen von fluktuierenden Gehirnaktivitäten scheitern. Zuletzt kann auch bei der Entscheidung zur Korrektheit einer Antwort ein Handlungsfehler eintreten, man schätzt also versehentlich eine Handlung als korrekt ein, obwohl man sie eigentlich als „falsch“ bewertet.

Mit Hilfe einer Sakkaden-Rücknahme-Aufgabe, bei der die ProbandInnen eine vorbereitete Sakkade unterdrücken sollten, sobald ein Stoppsignal erschien, untersuchten Endrass, Franke und Kathmann (2005) die Unterschiede zwischen Ne/ERN-Amplituden für entdeckte und nichtentdeckte Fehler, indem sie die ProbandInnen nach jedem Durchgang fragten, ob sie einen Fehler gemacht haben oder nicht. Es konnte kein Unterschied zwischen den beiden Fehlerarten gefunden werden. In einer Folgestudie (Endrass, Reuter & Kathmann, 2007) anhand einer Antisakkaden-Aufgabe (dabei wird ein Fixationspunkt betrachtet und bei Erscheinen eines zweiten Punktes soll in die entgegengesetzte Richtung geblickt werden) konnte ebenfalls kein Unterschied zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern in der Ne/ERN-Amplitude gefunden werden, jedoch wurde für die Pe eine höhere Amplitude bei entdeckten Fehlern gefunden. Auch Nieuwenhuis und KollegInnen (2001) verwendeten eine Antisakkaden-Aufgabe, in der die ProbandInnen nach jeder Antwort ihre Richtigkeit einschätzen sollten. Fast

alle Fehler, ob entdeckt oder unentdeckt, wurden von den ProbandInnen korrigiert. Sowohl Ne/ERN als auch Pe waren für entdeckte und unentdeckte Fehler sichtbar, lediglich die Amplitude der Pe war geringer bei unentdeckten Fehlern. Die AutorInnen interpretierten die Pe im Vergleich zur Ne/ERN als eine direkter vom Bewusstsein beeinflusste Komponente.

O'Connell und KollegInnen (2007) untersuchten die beiden Fehlerkomponenten hinsichtlich der Bewusstheit für Fehler in einer Go/No-Go-Aufgabe und fanden keinen Unterschied zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern für die Ne/ERN, jedoch einen Unterschied der Pe-Amplituden.

Scheffers und Coles (2000) verwendeten eine Flanker-Aufgabe mit zwei Wahlmöglichkeiten und ließen die ProbandInnen ihre Richtigkeit auf einer 5-stufigen Skala von sicher richtig bis sicher falsch einschätzen. Im Gegensatz zu den oben genannten Studien variierte die Amplitudenhöhe der Ne/ERN mit der Sicherheit der Einschätzung der ProbandInnen, so dass die Autoren auch die Ne/ERN sensitiv für Bewusstseinsaspekte interpretieren.

Hajcak, McDonald und Simons (2003) interpretieren die Pe nicht nur als bewusste Fehlerkomponente, sondern sehen ihre Funktion für nachfolgende Kompensationsprozesse. Die Pe ist also nicht nur Signal für Antwortüberwachung, sondern dient auch als Signal, um kompensatorisches Post-Fehlerverhalten, wie post-error slowing (also der Verlangsamung der Reaktionszeit nach einem Fehler, siehe Übersicht von Danielmeier & Ullsperger, 2011), auszulösen.

Hewig und KollegInnen (2011) untersuchten die Pe hinsichtlich der Unsicherheit in der Einschätzung zur Korrektheit vor Handlungen. Sie fanden die größte Pe-Amplituden für objektiv falsche Durchgänge, weniger aber gleich große Amplituden für unsichere Durchgänge und subjektiv als falsch eingeschätzte aber richtige Durchgänge und die geringsten Amplituden bei subjektiv als korrekt eingeschätzten Durchgängen. Die AutorInnen interpretieren diesen Befund, dass die Pe nicht direkt mit der vollständigen Fehlerentdeckung verknüpft ist, sondern sie auch bei Unsicherheit über die Aufgabenbewältigung auftreten kann. Die Pe ist also nicht nur sensitiv für bewusste Fehler, sondern indiziert auch die Unsicherheit, dass irgendetwas im System falsch abgelaufen sein könnte. Daraus schlossen die AutorInnen, dass in dem Fall keine angemessenen Verhaltensanpassungen stattfinden können und widersprechen somit Hajcak und KollegInnen (2003).

Etwas anders werden Ne/ERN und Pe von Gibbons und KollegInnen (2011) interpretiert. Während Ne/ERN perzeptbasierte Fehlerverarbeitung abbildet, ist die Pe Indikator für objektbasierte Fehlerverarbeitung (siehe 2.2.6). Dies widerspricht sich nicht mit den vorhergenannten Interpretationen, da Objekt-Reaktions-Repräsentationen bewusst zugänglich sein können, während Perzept-Reaktions-Repräsentationen bereits vorbewusst stattfinden. Die AutorInnen betten ihre Ergebnisse jedoch wesentlich stärker in einen umfassenderen theoretischen Rahmen.

Auch Steinhauser und Yeung (2010) interpretieren die Pe nicht als ein Indikator für einen Fehlerentdeckungsprozess, sondern als eine internale Entscheidungsvariable die Informationen zur Evidenz übermittelt, auf die wiederum Fehlerentdeckung basiert. Sie interpretieren damit den Prozess nicht mehr als Performanz-Monitoring sondern als einen Entscheidungsfindungsprozess. Nach dieser Theorie ist die Pe höher, je mehr Evidenz einen Fehler begangen zu haben pro Zeiteinheit akkumuliert wird. Steinhauser und Yeung (2010) sehen gemeinsame neuronale Mechanismen sowohl für die Ansammlung als auch Bewertung von Evidenz über externale sensorische Ereignisse und internale Überwachungsprozesse und fordern mehr Untersuchungen zu diesen Mechanismen. Ridderinkhof, Ramautar und Wijnen (2009) gehen dabei noch einen Schritt weiter und sehen die Pe und die Stimulus-bezogene Komponente P3 als Komponenten eines gemeinsamen neuronalen Ursprungs, die beide die bewusste Verarbeitung von motivational salienten Ereignissen widerspiegeln. Die Pe wird weitergehend als Indikator einer Orientierungsreaktion oder eines Salienz-Netzwerks mit Aktivität der anterioren Insula, des noradrenergen Systems und des autonomen Nervensystems interpretiert (Ullsperger et al., 2010). Die Pe wird von den AutorInnen also nicht als Indikator dafür interpretiert, dass der Fehler an sich bewusst wird, sondern dafür, dass eine Orientierungsreaktion bewusst wird.

Unter Hypnose, ein Bewusstseinszustand, der sich dadurch kennzeichnet, dass frontale Bereiche des Gehirns gehemmt werden und exekutive und planende Funktionen von dem Hypnotiseur übernommen werden, konnten keine Unterschiede der Ne/ERN gefunden werden, die Pe war jedoch verringert (Kaiser, Barker, Haenschel, Baldeweg, & Gruzelier, 1997). Die Pe wurde außerdem von der Schläfrigkeit der ProbandInnen beeinflusst und war nach Schlafentzug geringer in Amplitudenhöhe (Murphy, Richard, Masaki & Segalowitz, 2006).

Die Pe war auch verringert während einer angstinduzierenden Bedingung (Moser, Hajcak & Simons, 2005). Interpretiert wurde dieser Befund, als dass Angst spätere

Fehlerverarbeitungsprozesse reduziert aufgrund einer geringeren Orientierung der Aufmerksamkeit zur internalen Fehlerentdeckung. Im Moment der Angst sind Fehler weniger salient oder bewusst. Leider wurde nicht direkt die Bewusstheit der Fehler gemessen, indem zum Beispiel nach jedem Durchgang nach Richtigkeit der Antwort gefragt wurde.

In der Literaturlaufarbeit von Overbeek, Nieuwenhuis und Ridderinkhof (2005) kamen die AutorInnen zum Schluss, dass die Pe weniger eine Komponente für affektive Fehlerverarbeitung oder für Verhaltensadaption nach einem Fehler ist und eher eine bewusste Erkennung von Fehlern indiziert. Ebenso ziehen sie Parallelen mit der Komponente P3b, die motivationale Signifikanz von Reizen widerspiegelt, da Studien zeigen, dass beide den gleichen neuronalen Ursprung haben (Hester, Foxe, Molholm, Shpaner, & Garavan, 2005).

Ullsperger und KollegInnen (2010) sagten dazu: "What are the interactions between error awareness and emotion and motivation? Particularly aware errors should have impact on motivation. Vice versa, affective and motivational state may influence to what extent errors are consciously perceived" (p. 640). Passend dazu untersuchten Simon-Thomas und Knight (2005) die Ne/ERN (dort als Conflict-related negativity, CRN, bezeichnet) und Pe bei Präsentation von aversiven Bildern. Die Pe hatte eine größere Amplitude bei Antworten auf Reizen nach aversiven Bildern im Vergleich zu neutralen Bildern, dies konnte jedoch auch als möglicher Konfliktzuwachs interpretiert werden, der für die größere Amplitude verantwortlich war.

2.3.3 Interindividuelle Unterschiede in Ne/ERN- oder Pe-Amplitude

Im Folgenden werden empirischen Ergebnisse zu Persönlichkeitseigenschaften und personenspezifische Bedingungen berichtet, die einen Einfluss auf die Fehlerkomponenten haben.

Chang, Davies und Gavin (2009) verglichen ProbandInnen mit Aufmerksamkeits-Hyperaktivitäts-Defizit-Syndrom (ADHS) und gesunde ProbandInnen und fanden für erstere Gruppe sowohl geringere Ne/ERN-Amplituden als auch eine höhere Reaktionszeitvariabilität (RTSD) innerhalb der ProbandInnen. In einer weiteren Studie mit ADHS-Betroffenen wurde ein negativer Zusammenhang von RTSD und Anteil an entdeckten Fehlern gefunden (O'Connell et al., 2009). Aufmerksamkeitskontrollprozesse wurden deshalb für die Defizite in der Fehlerentdeckung von den AutorInnen verantwortlich gemacht. Auch ProbandInnen mit höherer Impulsivität zeigten geringere Ne/ERN-Amplituden (Ruchow, Spitzer, Grön, Grothe & Kiefer, 2005).

Geringe emotionale Stabilität (bzw. Neurotizismus, Costa & McCrae, 1992; oder hoher negativer Affekt, Watson & Clark, 1984) ist eine stabile Persönlichkeitseigenschaft, die oft mit Depression, Angststörungen oder der Unfähigkeit, aversive Ereignisse zu akzeptieren, einhergeht (Costa & McCrae, 1992; Watson & Clark, 1984). Unterschiede in den Fehlerverarbeitungsprozessen zwischen ProbandInnen mit unterschiedlicher Ausprägung dieser Eigenschaft konnten gefunden werden. So waren Fehler weniger bewusst für ProbandInnen mit hohem negativem Affekt als für ProbandInnen mit niedrigem negativem Affekt (Hajcak, McDonald, & Simons, 2004). Die Pe-Amplituden waren für fehlerhafte Durchgänge und auch die positive Aktivität bei korrekten Durchgängen geringer, die Ne/ERN-Amplituden und die fehler-bezogene elektrodermale Aktivität höher für ProbandInnen mit hohem negativem Affekt im Vergleich zu ProbandInnen mit niedrigem negativem Affekt. Sie interpretierten diesen Befund als eine Hyperaktivität des ACC und gesteigerte Antwort-Überwachung bei gleichzeitigem geringerem Gewahrsein von Fehlern und einer reduzierten Verarbeitung korrekter Antworten.

Auch Luu, Collins und Tucker (2000) fanden im Vergleich zwischen ProbandInnen mit hoher und niedriger emotionaler Stabilität höhere Ne/ERN-Amplituden für letztere. Dies konnten sie jedoch nur zu Beginn der Aufgabe feststellen, währenddessen die ProbandInnen auch eine stärkere Veränderung der post-error slowing zeigten, was die AutorInnen als Überengagement interpretierten. Im Verlauf der Aufgabe zeigten die ProbandInnen mit niedriger emotionaler Stabilität ein Loslösen von der Aufgabe (sichtbar durch ein geringeres post-error slowing) und geringere Ne/ERN-Amplituden. In dieser Zeit berichteten die ProbandInnen außerdem ein geringeres Gewahrsein für ihre Fehler.

Außerdem konnte beobachtet werden, dass ProbandInnen mit niedriger emotionaler Stabilität eine größere Variabilität ihrer Ne/ERN-Amplituden zeigen. Diese Variabilität ist abhängig von ihrem Motivationslevel während einer Aufgabe (Segalowitz & Dywan, 2009).

Einen etwas unterschiedlichen Befund machen West und Travers (2008). Sie finden größere Ne/ERN-Amplituden für solche ProbandInnen, die zu Beginn der Aufgabe zufriedener und ruhiger waren. Der aktuelle positive Affekt hat also eventuell einen fördernden Effekt auf die neuronalen Prozesse der Fehlerverarbeitung. Im Unterschied zu den genannten Studien wurde der aktuelle Gemütszustand und nicht der negative Affekt der letzten zwei Wochen abgefragt.

ProbandInnen, die an einer Zwangsstörung leiden, die also Schwierigkeiten haben, sich von bestimmten Verhaltensweisen oder Gedanken zu lösen, zeigten höhere Ne/ERN-Amplituden in Abhängigkeit von der Stärke ihrer Zwangssymptome (Gehring, Himle, & Nisenson, 2000).

Auch andere Persönlichkeitseigenschaften können die Ne/ERN-Amplitude beeinflussen. So ist sie geringer für ProbandInnen mit perfektionistischer Besorgnis (Stahl, Acharki, Kresimon, Völler & Gibbons, 2015) und geringer für ProbandInnen mit stärkerer Impulsivität (Stahl & Gibbons, 2007).

Wenn man diese Befunde zusammenfasst, scheint es, dass Individuen, die aufgrund von Persönlichkeitseigenschaften oder situativen Faktoren mit ihrer Aufmerksamkeit fokussiert und engagiert bei der Aufgabe sind, höhere Ne/ERN-Amplitude zeigen, als Individuen mit geringerem Fokus oder Engagement.

Fox, Henderson, Marshall, Nichols und Ghera (2005) sehen in ihrer integrativen Betrachtung einen Zusammenhang zwischen emotionaler Regulation, exekutiver Aufmerksamkeit und sozialer Entwicklung: ProbandInnen, denen es leichter fällt, ihre Emotionen zu regulieren, haben weniger Schwierigkeiten bei der Bewältigung kognitiver Aufgaben und im Kontext sozialer Interaktionen.

3. Was ist Achtsamkeit?

Verbesserte Emotionsregulation, exekutive Funktionen und Aufmerksamkeit sind Aspekte, die auch bei hoher Achtsamkeit eine Rolle spielen. Im Folgenden wird Achtsamkeit definiert, Trait und State Achtsamkeit voneinander abgegrenzt, die Eigenschaft Achtsamkeit zum Training der Achtsamkeit in Form von Achtsamkeitsmeditation in Bezug gesetzt, über die Messung von Achtsamkeit diskutiert und letztlich empirische Ergebnisse und neurophysiologische Modelle zur Erklärung der Mechanismen von Achtsamkeit beschrieben.

3.1 Definitionen von Achtsamkeit und Achtsamkeitsmeditation

Es gibt zahlreiche Definitionen des Konstrukts Achtsamkeit. Die von einigen WissenschaftlerInnen verwendete Definition von Bishop und KollegInnen (2004) beschreibt Achtsamkeit als ein aus zwei Komponenten bestehendes Konstrukt: Menschen mit hoher Achtsamkeit zeigen erstens ein höheres *Gewahrsein* aufgrund von selbst-gesteuerter, anhaltender Aufmerksamkeit auf das unmittelbare Erlebnis. Zweitens besitzen sie eine höhere *emotionale Akzeptanz* aufgrund von einer durch Neugierde und Offenheit charakterisierten Orientierung auf die eigenen momentanen Erlebnisse.

Dreyfus (2011) kritisiert die Definition nach Bishop und KollegInnen (2004) und auch andere westliche Verwendungen des Begriffs „Achtsamkeit“. Er sieht einen großen Unterschied zu der traditionellen Definition des Begriffs aus dem Pali, *sati*, der „mindfulness“ oder „Achtsamkeit“ entspricht. Er zitiert dabei Buddhagosa, einem Gelehrten aus der Theravada-Tradition:

By means of it, they [i.e. other mental processes] remember (saranti), or it itself remembers, or it is simply just remembering (sarana). Thus it is mindfulness (sati). Its characteristic is not wobbling; its function is not to forget. It is manifested as guarding or the state of being face to face with an object. (Nyānamoli Bhikkhu 1976, XIV 141, zitiert nach Dreyfus, 2011).

Nach dieser Definition kann *sati* auch die Erinnerung an die Vergangenheit betreffen und nicht nur die Aufmerksamkeit im Jetzt. Es ist die Fähigkeit des Bewusstseins, präsent gegenüber einem Objekt zu bleiben ohne dabei abzuschweifen. Dabei ist diese Fähigkeit verknüpft mit dem Arbeitsgedächtnis, also der Fähigkeit erhaltene Informationen im Bewusstsein zu halten und ihnen Sinn zu geben. *Sati* ist eine Top-down-Fähigkeit des Bewusstseins, Informationen zu erhalten und zu verknüpfen, sodass der aktuelle Moment der Erfahrung mit dem zeitlichen Erlebensfluss integriert werden kann (Dreyfus, 2011). Es wird dabei eine natürliche Kapazität gemeint, die durch Meditation gestärkt werden kann und die zur

Entwicklung einer anhaltenden Aufmerksamkeit auf ein Objekt dient. Nach der westlichen Definition könnte man Achtsamkeit als reine Bottom-up-Fähigkeit interpretieren, da alle perzeptuellen Eindrücke ohne Beurteilung aufgenommen und wieder abgelegt werden. Dies widerspricht dem Achtsamkeitskonzept von Dreyfus (2011), da Gedächtnis und Arbeitsgedächtnis immer aktiv sind und Wahrnehmung und deren Inhalte permanent über Top-down-Prozesse beeinflussen. Dies berücksichtigt die buddhistische Definition von Achtsamkeit.

3.1.1 Achtsamkeitsmeditation

Achtsamkeit wird vor allem im Zusammenhang mit der Praxis von Achtsamkeit durch Meditation betrachtet (Literaturübersicht von Cahn & Polich, 2006; Lutz, Dunne & Davidson, 2007). Bei einer Längsschnittstudie mit ProbandInnen ohne Vorerfahrung zeigt die Meditationsgruppe im Vergleich zur Wartelisten-Kontrollgruppe eine Zunahme an Achtsamkeit nach 16 Wochen achtsamkeitsbasiertem Meditationstraining (Moore, Gruber, Derose & Malinowski, 2012).

Es gibt zahlreiche Arten von Achtsamkeitsmeditationen, die sich je nach buddhistischer oder anderer religiöser Traditionen beziehungsweise als westliche, säkularisierte Formen der Praxis in ihren Schwerpunkten und Ansätzen unterscheiden. Meditation wird beispielsweise nach dem „Edlen Achtfachen Pfad“ des Siddhartha Gautama als ein Teil des Weges zur Erleuchtung gesehen. Meditation soll dabei zum *rechten Streben* (*sammā vāyāma*), zur *rechten Achtsamkeit* (*sammā sati*) und zur *rechten konzentrierten Versenkung* (*sammā samādhi*) führen (22. Lehrrede Buddhas im Digha-Nikaya des Pali-Kanons: Mahāsatipathāna Sutta – Die vier Grundlagen der Achtsamkeit, Übersetzung von Neumann, 1957). Doch auch in der westlichen Welt wird Meditation in seinen Vorteilen betrachtet. Meditation wird nach Slagter, Davidson und Lutz (2011) als eine Sammlung verschiedener Techniken beschrieben, die das Ziel haben, Entspannung und Aufmerksamkeitsfunktionen zu fördern, das Wohlbefinden zu steigern und prosoziales Verhalten zu stärken. Ein großes Problem also ist die Heterogenität der untersuchten meditativen Zustände. Wenn man also die Effekte von Meditation untersucht, ist es ähnlich als würde man die Effekte von Sport untersuchen. So wie man Sportarten spezifizieren würde, ist es relevant die Arten von Meditation zu spezifizieren. Aus den zahlreichen Varianten und Techniken haben Lutz und KollegInnen (2007) zwei der üblichsten klassifiziert: *Fokussierte Aufmerksamkeit* versus *Offenes Monitoring*. Bei der Meditationsrichtung Fokussierte Aufmerksamkeit wird die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes

Objekt gelenkt, wie zum Beispiel auf den Atem oder einem visuellen Objekt. Dabei wird die Qualität der Aufmerksamkeit konstant überwacht und reguliert. Die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit geschieht durch Überwachung möglicher Distractionen, ohne dabei den intendierten Fokus zu destabilisieren. Wenn es zur Ablenkung durch ein Objekt, wie zum Beispiel einen Gedanken oder eine Emotion kommt, ist die Aufgabe, sich von diesem Objekt ohne weitere Berücksichtigung zu lösen und den Fokus wieder auf das gewählte Objekt zu richten. Wenn also z.B. das gewählte Objekt das Spüren der Einatmung an der Nasenspitze ist und man mit den Gedanken abschweift (z.B. hinzu den Kapiteln, die man noch für seine Dissertation schreiben muss) ist die Aufgabe, dies zu merken, sich von diesen Gedanken zu lösen, sich nicht weiter mit ihnen zu beschäftigen und stattdessen wieder die Einatmung an der Nasenspitze zu spüren. Das Offene Monitoring beinhaltet hingegen die non-reaktive, meta-kognitive Überwachung des gesamten Erfahrungsinhalts von Moment zu Moment, ohne sich dabei auf ein bestimmtes Objekt zu konzentrieren. Ein Ansatz zum Lernen dieser Meditation ist, dass man zunächst den Geist beruhigt, indem man mit Fokussierter Aufmerksamkeit sich beispielsweise auf den Atem konzentriert und dann graduell den Fokus reduziert, bis man den gesamten Erfahrungsinhalt gewahr hat. Ein anderer Ansatz zum Lernen von Offenem Monitoring ist das Bezeichnen und Bewerten aller aufkommenden Gedanken, Wahrnehmungen und Emotionen. Zum Beispiel: Geräusch – positiv, Spüren des Beines auf dem anderen – negativ, Gedanken an Weihnachten – positiv, „Welche Geschenke müssen noch eingekauft werden?“ – negativ, Geräusch – neutral usw. Dies kann auch abstrahiert werden: Wahrnehmung außen, Wahrnehmung innen, Gedanken Zukunft, Gedanken Planung, Wahrnehmung außen usw. Ziel dabei ist eine Kultivierung eines reflexiven Gewahrseins des reichhaltigen Erfahrungsmoments und dabei einem steigenden Bewusstsein von automatischen kognitiven und emotionalen Interpretationen von sensorischen, perzeptuellen und endogenen Reizen. Dabei wird kognitive Flexibilität und das Ermöglichen von Neubewertungen trainiert. Beim Praktizieren von Fokussierter Aufmerksamkeit wird also eher die Gewahrseins-Komponente der Achtsamkeit geübt, während bei Offenem Monitoring eine Offenheit und emotionale Akzeptanz stärker gefördert wird. Diese zwei üblichen Buddhistischen kontemplativen Techniken bieten detaillierte und präzise Theorien und werden auch in klinischen Settings angeboten. So ist zum Beispiel *Achtsamkeitsbasierte Stressreduktion* (Mindfulness-Based Stress Reduction, MBSR, Kabat-Zinn, 1990) wohl das populärste Programm in der westlichen Welt und bietet in seinen acht Wochen Training eine Mischung aus den beiden Meditationsformen an.

Slagter und KollegInnen (2011) beschreiben Meditation als ein mentales Training. Dabei wird nicht aufgaben- oder reizspezifisch gelernt, sondern es findet ein prozessspezifisches Lernen statt, bei dem auf neue Reize und Aufgabenkontexte generalisiert werden kann. Die Autoren listen eine Reihe von Effekten des Trainings auf kognitive Kontrollprozesse wie die Selektion von zielrelevanten Informationen, Performanzüberwachung und Speicherung und Manipulation von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Diese Prozesse sind fundamental für höhere Kognition und relevant für eine hohe Leistung in verschiedenen kognitiven Domänen. Beispielsweise ist die Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsfokussierung hilfreich für jede Art von Aufgabe. Meditation ist ein spezielles Training dieser kognitiven Fähigkeiten, da es in Abwesenheit der Ausführung externaler Aufgaben stattfindet. So werden verschiedene kognitive Mechanismen wie Konfliktlösung (Tang et al., 2007) und Aufmerksamkeitssteuerung (Lutz et al., 2009) verbessert. Außerdem ist Meditation mit neuroplastischen Veränderung im ACC und anderen Bereichen assoziiert (Hölzel et al., 2011) sowie mit einem stärkeren zerebralen Blutfluss im ACC (Tang, Lu, Feng, Tang, & Posner, 2015). Passend dazu kommt es zu einer Verbesserung der Handlungsüberwachung, sichtbar durch eine Reduktion der RTSD (Lutz et al., 2009).

Bisher sind die involvierten neurophysiologischen Prozesse, die während der Meditation stattfinden, wenig bekannt. Auch die Langzeitwirkung auf das Gehirn und auf kognitive Funktionen konnte bislang aufgrund des Fehlens statistischer Belege und Kontrollpopulationen und –aufgaben nicht gefunden werden.

3.1.2 State versus Trait Achtsamkeit

Aufmerksamkeitssteuerung kann als zentrale Gemeinsamkeit bei den verschiedenen Meditationstechniken gesehen werden (Cahn & Polich, 2006). Jede Technik induziert einen vorhersagbaren und unterscheidbaren Zustand (state), welcher durch bestimmte kognitive oder physikalische Merkmale oder Ereignisse gekennzeichnet ist, die vom Praktizierenden beobachtet werden können. Cahn und Polich (2006) benennen dabei Ruhe und Friedlichkeit, Wegfall oder Verlangsamung des inneren Dialogs, Klarheit, Achtsamkeit, Erlebnisse von Glückseligkeit und metakognitiver Wechsel zwischen Gedanken und Gefühlen. Dieser Zustand hat einen vorhersagbaren Effekt auf Körper und Geist insofern, dass die Praktizierende gewünschte Eigenschaften (traits) fördern und unerwünschte hemmen kann (Lutz et al., 2007). So listen Cahn und Polich (2006) Eigenschaften, die sich entwickeln, wie Ruhe, Zufriedenheit, Bewusstsein der sensorischen Umwelt und Achtsamkeit. Achtsamkeitsmeditation ermöglicht

also das Erzeugen bestimmter Zustände, die langfristig zu einer Entwicklung bestimmter Eigenschaften führen (Lutz et al., 2007). Dies geschieht graduell über die Zeit und mit der Übung. So kommt es zum Beispiel langfristig zur Fähigkeit, zu bemerken, dass die Gedanken abschweifen oder dass man bestimmte Wahrnehmungsinhalte automatisch interpretiert. Die Aufmerksamkeit ruht stabiler auf einem gewählten Fokus und es fällt leichter seine Emotionen zu regulieren. Der Zustand der Achtsamkeit wird also langfristig zu einer Eigenschaft.

3.1.3 Achtsamkeit messen

Es gibt zahlreiche Fragebögen, die mit Hilfe von Selbsteinschätzungen das Ausmaß der Achtsamkeit als Trait bestimmen sollen. In einer Übersichtsarbeit stellen Sauer und KollegInnen (2013) heraus, dass die *Mindful Attention Awareness Scale* (MAAS; Brown & Ryan, 2003) und der *Kentucky Inventory of Mindfulness Skills* (KIMS; Baer, Smith & Allen, 2004) die am häufigsten verwendeten Fragebögen sind gefolgt vom *Five Facet Mindfulness Questionnaire* (FFMQ; Baer, Smith, Hopkins, Krietemeyer & Toney, 2006). Der am stärksten an buddhistische Theorien ausgerichtete Fragebogen ist der *Freiburger Fragebogen zur Achtsamkeit* in seiner Lang- und Kurzform (Buchheld, 2000; Buchheld, Grossman & Walach, 2001; Walach, Buchheld, Buttenmüller, Kleinknecht & Schmidt, 2006, deutsche Version von Buchheld & Walach, 2002). In deutscher Übersetzung gibt es bisher nur MAAS, KIMS und FFA.

MAAS. Der MAAS (Brown & Ryan, 2003; deutsche Version von Michalak, Heidenreich, Ströhle & Nachtigall, 2008) ist ein eindimensionaler Fragebogen, der Aufmerksamkeit und Gewahrsein im Alltag negativ gepolt erfragt, also Situationen abfragt, in denen man unaufmerksam, automatisiert oder mit seinem Autopiloten handelt (sechsstufige Ratingskala von 1 – fast immer bis 6 – fast nie, z.B.: „Ich fahre zu Orten wie von einem „Autopiloten“ gesteuert und frage mich dann, wie ich dorthin gekommen bin.“). Christopher, Christopher und Charoensuk (2009) baten Thai-Mönche diesen Fragebogen auszufüllen und fanden tatsächlich leicht höhere Werte im Vergleich zu Thai-Studierenden und amerikanischen Studierenden.

KIMS. Der KIMS (Baer et al., 2004; deutsche Version von Ströhle, Nachtigall, Michalak & Heidenreich, 2010) besteht aus vier theoretisch fundierten Faktoren, die aus Verwendung des Achtsamkeitsbegriffs in der westlichen Therapie (Dialektisch-Behaviorale Therapie nach Linehan, 1993) abgeleitet wurden und umfasst *Beobachten*, also die Wahrnehmung äußerer und innerer Reize („Wenn ich gehe, dann nehme ich ganz bewusst wahr, wie sich die Bewegungen

meines Körpers anfühlen.“), *Beschreiben*, die Benennung wahrgenommener Eindrücke („Ich kann meine Gefühle gut in Worte fassen.“), *mit Aufmerksamkeit handeln*, also das Handeln mit Gewahrsein im aktuellen Moment („Wenn ich lese, richte ich all meine Aufmerksamkeit auf das, was ich lese.“), und *Akzeptieren ohne Bewertung*, die nicht-urteilende Einstellung gegenüber den Erfahrungen und deren Benennungen (reversiert: „Ich sage mir, dass ich nicht das fühlen sollte, was ich fühle.“).

FFA. Die Langversion des FFA umfasst 30 Items und erfasst nichturteilende Beobachtung im Hier und Jetzt und Offenheit gegenüber negativen Erfahrungen. Der Fragebogen bezieht sich direkt auf den Buddhistischen Achtsamkeitsbegriff, denn er wurde aus Literaturrecherchen zu Vipassanâ und Achtsamkeit und mit Hilfe von Experten mit langjähriger Achtsamkeitsmeditationserfahrung entwickelt und richtet sich demnach eher an erfahrene Meditierende. Die Validierung von Walach und KollegInnen (2004) erfolgte mit Teilnehmenden eines Achtsamkeitsmeditations-Retreats. Die Verwendung der 30 Items an einer Stichprobe von Laien ergab Verständnisschwierigkeiten bei einigen Items, so dass eine Kurzform aus den für Laien noch robusten Items entwickelt wurde (Walach, et al., 2004). Zunächst wurde von einer Vier-Faktoren-Struktur ausgegangen, später wurde dies aber revidiert und ein Globalfaktor beschrieben. Die 14 Items der Kurzform des FFA (Buchheld & Walach, 2002) haben eine vierstufige Skala von 1 – fast nie bis 4 – fast immer und umfassen beispielsweise Items wie „Wenn ich merke, dass ich abwesend war, kehre ich sanft zur Erfahrung des Augenblicks zurück“.

PHLMS. Der bisher unerwähnte und noch nicht auf Deutsch verfügbare *Philadelphia Mindfulness Scale* (PHLMS; Cardaciotto, Herbert, Forman, Moitra, & Farrow, 2008) hat eine Faktorstruktur, die der gängigen Definition von Bishop und KollegInnen (2004) entspricht und nach den beiden Faktoren *Gewahrsein* und *emotionale Akzeptanz* differenziert. Dazu entwickelten klinische PsychologInnen mit Kenntnissen der Achtsamkeit Items spezifisch zu den beiden (separat definierten) Komponenten, die von Experten bewertet wurden, die zu Achtsamkeit bereits veröffentlicht haben. Eine Faktorenanalyse erfolgte darauf an einer Stichprobe von Psychologie-Studierenden ohne Meditationserfahrungen, so dass davonausgegangen werden kann, dass der finale Fragebogen mit 20 Items (jeweils 10 Items zum Faktor Akzeptanz und Gewahrsein) mit fünfstufigen Skalen (0 - niemals bis 4 - sehr häufig) für Laien geeignet ist. Dabei waren alle Items der Akzeptanz negativ gepolt und des Gewahrseins positiv gepolt und beide Faktoren unabhängig voneinander. Validiert wurde er

von Cardaciotto und KollegInnen (2008) an einer weiteren Stichprobe Psychologie-Studierender, einer allgemeinen klinischen Stichprobe und einer Stichprobe mit Essstörungen. Die klinische Stichprobe zeigte niedrigere Werte als die gesunde Stichprobe für beide Faktoren. Die Stichprobe mit Essstörungen zeigte nur auf dem Akzeptanz-Faktor niedrigere Werte. Akzeptanz und Gewahrsein korrelierten beide positiv mit dem MAAS und mit zwei KIMS Faktoren (Beobachten bzw. Akzeptieren ohne Bewerten). Negativ korrelierte Akzeptanz mit Ruminieren und Gedankenunterdrücken.

Bewertung der Fragebögen. Sauer und KollegInnen (2012) schließen aus ihrer Recherche, dass die prognostische Validität momentan am besten für den MAAS sei, da es neun Studien gibt, die diese unterstützen. Ein Fragebogen, der häufig verwendet wird, ist meist auch am häufigsten validiert. Dabei ist zu bedenken, dass Fragebögen, die vielleicht besser aufgrund ihrer theoretischen Fundierung sind, aber aufgrund ihres aktuelleren Veröffentlichungsdatums noch nicht oft verwendet wurden und sich deshalb noch nicht durchgesetzt haben, bei dieser Art der Bewertung automatisch schlechter abschneiden. Besonders der PHLMS, der direkt auf der gängigen Definition von Achtsamkeit als Konstrukt aus den zwei Konzepten Gewahrsein und emotionale Akzeptanz basiert (Bishop et al., 2004) und auf mehreren Validierungsstudien mit klinischen und gesunden Stichproben beruht, wurde in dieser Übersicht kaum erwähnt und nicht empfohlen.

Kritik an der Verwendung von Fragebögen. Grossman (2008) führt wichtige Kritikpunkte auf, die bei der Verwendung von Fragebögen zur Messung von Achtsamkeit relevant sind. Zum einen sind sich Experten in der Bedeutung von Achtsamkeit nicht einmal einig (siehe 3.1) und das semantische Verständnis der Fragen ist abhängig vom Ausmaß der eigenen Praxis in Meditation. Laien und Meditierende haben also eine andere Auffassung von Achtsamkeit und das Training in Meditation kann zu einer Umdeutung des Begriffs führen. Man kann diesen Kritikpunkt in Bezug auf viele psychologische Begriffe aufführen, da psychologische Konstrukte keine natürlichen Arten sind (Machery, 2011) und demnach ihre Definition nicht fest. Passend dazu ist es auch kritisch, wenn die Konzeptionierung der Fragebögen auf unterschiedlichen Theorien basiert und sie dennoch unspezifisch zur Messung von Achtsamkeit eingesetzt werden. Der buddhistische Ursprung unterscheidet sich stark von der westlichen Interpretation (siehe oben) und deshalb unterscheiden sich die verschiedenen Fragebögen sehr stark. Es ist fraglich, ob überhaupt mit allen Fragebögen das gleiche oder zumindest vergleichbares gemessen wird. Zum anderen kann man von einem bedeutsamen

Unterschied zwischen Selbstbeurteilung und tatsächlicher Achtsamkeit ausgehen, wobei man hier fragen muss, was tatsächliche Achtsamkeit ist, wenn nicht das subjektive Erleben. Die Verwendung von Fragebögen sollte also mit Vorsicht und Achtsamkeit geschehen. Durch Verwendung von verschiedenen Fragebögen und zusätzlichen Messmethoden kann man jedoch zu einem tieferen Verständnis des Konzepts gelangen.

3.2 Empirische Ergebnisse zu psychologisch relevanten Effekten von Achtsamkeit

Empirische Untersuchungen der Effekte von Achtsamkeitsmeditation begannen verstärkt in den 1970er Jahren mit der gesteigerten Popularität dieser Technik in der westlichen Welt (Benson, Beary, & Carol, 1974) und später, als Jon Kabat-Zinn sein Achtsamkeit-basiertes Stressreduktionsprogramm (MBSR) veröffentlichte und dies immer stärker verbreitet wurde (erste Effekte wurden von Kabat-Zinn, 1982, untersucht). Seither ergaben zahlreiche Studien positive Effekte der Achtsamkeitsmeditation (siehe Übersicht von Lutz et al., 2007). Trotz des fast exponentiellen Wachstums an Meditationsforschung in den letzten dreißig Jahren (Black, 2014) gibt es bisher noch keine eindeutige Erklärung, welche Mechanismen für die verschiedenen Effekte verantwortlich sind. Eine gesteigerte Performanzüberwachung, eine bessere Aufmerksamkeit oder ein gestärktes Emotionsregulationssystem sind für die therapeutischen Effekte möglicherweise mitverantwortlich (Chambers, Gullone & Allen, 2009; Davidson & Lutz, 2008; Gu, Strauss, Bond & Cavanagh, 2009; Hofmann & Asmundson, 2008; Moore & Malinowski, 2009; Teasdale, Segal & Williams, 1995; Way, Creswell, Eisenberger & Lieberman, 2010) und stellen demnach mögliche Schlüsselkomponenten einer effektiven Achtsamkeitsmeditation dar. Auf neuropsychologischer Ebene spielt das Netzwerk des präfrontalen Cortex (PFC, Davidson & Lutz, 2008; Chambers et al., 2009) und des ACC (Hölzel et al., 2007) eine große Rolle. So wurden verstärkte Aktivierungen besonders im dorsalen ACC und dorsolateralen PFC während Achtsamkeitsmeditation gefunden (Baron Short et al., 2010).

Den Charakteristiken der Achtsamkeit (Bishop et al., 2004) nach müsste eine achtsame Person weniger Fehler machen und Fehler leichter entdecken, da sie ein höheres Gewahrsein des aktuellen Moments hat. Außerdem sollte ihre höhere emotionale Akzeptanz für ein höheres Engagement während einer Aufgabe sorgen.

Ruocco und Direkoglu (2013) fanden keine signifikante Korrelation zwischen dem Gewahrsein-Faktor der Achtsamkeit (gemessen mit dem PHLMS, Cardaciotto et al., 2008) und der Anzahl der Auslassungsfehler während einer Go/No-Go-Aufgabe (Conners' Continuous Performance Test-II, Conners & Staff, 2000), die anhaltende Aufmerksamkeit misst. Sie fanden

jedoch eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Akzeptanz-Faktor des PHLMS und den Auslassungsfehlern und einen positiven Zusammenhang mit der Arbeitsgedächtniseffizienz, welche durch einen kombinierten Wert der Genauigkeit und der Reaktionszeit in einer einfachen Reaktionsaufgabe (Penn Letter N-Back Test; Ragland et al., 2002) gemessen wird. Sie interpretierten diese Befunde zweierlei: erstens könnte eine akzeptierende Haltung als aktiver Prozess mehr Arbeitsgedächtniskapazität benötigen als eine automatische Strategie der Vermeidung von Erfahrungen, oder zweitens, da man die erlebten Ereignisse nicht zu verändern versucht, ist weniger Arbeitsgedächtniseffizienz nötig. Bezüglich Fehlerverarbeitung könnte also interpretiert werden, dass eine akzeptierende Haltung als aktiver Prozess mit mehr Engagement während einer Aufgabe einhergeht. Andererseits, wenn man nicht versucht, Erlebnisse zu verändern, könnte es mehr Kapazität zum Entdecken von Fehlern geben.

Darüber hinaus korrelierte in der Studie von Moore und Malinowski (2009) der Gesamtscore des KIMS (Baer et al., 2004) negativ mit den Fehlern in einer traditionellen Stroop-Aufgabe (Stroop, 1935). Wittmann und KollegInnen (2014) fanden jedoch keinen signifikanten Zusammenhang mit dem FFA-Achtsamkeitswert (Buchheld & Walach, 2002) und der Akkuratheit in einer Flanker-Aufgabe (Attention Network Test, ANT; Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002).

Nach vier Wochen (jeweils insgesamt elf Stunden Training) Integrative Body-Mind Training (IBMT, Achtsamkeitsbasiertes Meditationstraining, inklusive einer Körperentspannung und geistiger Imagination) gab es bereits sichtbare Veränderungen des ACC im Vergleich zu vier Wochen Entspannungstraining, bei dem sich auf die Gefühle von Wärme und Schwere verschiedener Körperteile progressiv konzentriert werden sollte (Tang, Lu, Fan, Yang & Posner, 2012): es kam zur stärkeren Myelinisierung, was mit einer Verbesserung von Geschwindigkeit und Synchronie der Reizleitung einhergeht. Außerdem stieg die Aktivierung im ACC während Vipassana-Meditation stärker bei Meditierenden im Vergleich zu Nicht-Meditierenden (Hölzel et al., 2007) an. In der Studie von Moore und KollegInnen (2012) gab es im Vergleich der Meditationsgruppe und der Wartelisten-Kontrollgruppe zum ersten und zum dritten Messzeitpunkt bei Messung des EEG während einer Stroop-Aufgabe einen Amplitudenanstieg der negativen Komponente N2, sowie einer Verminderung der positiven Amplitude P3 für die Experimentalgruppe. Die AutorInnen interpretieren das Ergebnis insofern, dass frühe Stimulusverarbeitung sich durch die Meditationspraxis verbessert, da mehr Ressourcen für die frühe Stimulusverarbeitung zur

Verfügung stehen. Die spätere Stimulusverarbeitung, die mit kognitiver Kontrolle im Zusammenhang steht, bedarf weniger Ressourcen, um inkongruente Stimuli zu verarbeiten, weshalb die spätere Amplitude P3 geringer wird. Auf Verhaltensebene zeigte die Meditationsgruppe keine verbesserte Leistung im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Bisher gibt es lediglich zwei Studien, die den Zusammenhang von Achtsamkeit und Fehlernegativität und –positivität untersuchten. Während Teper und Inzlicht (2012) größere Ne/ERN-Amplituden für ProbandInnen mit langjähriger Meditationserfahrung im Vergleich zu Laien beobachteten, fanden Larson, Steffen und Primosch (2013) keinen Unterschied in der Ne/ERN-Amplitudenhöhe zwischen ProbandInnen nach einem 14-minütigen Meditationstraining im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Sie fanden jedoch geringe Pe-Amplituden bei fehlerhaften Durchgängen für die ProbandInnen der Meditationsgruppe. Sie interpretierten dies als eine reduzierte autonome Erregung.

Bisher gibt es keine Studie, die den Zusammenhang von Trait Achtsamkeit und Fehlerkomponenten untersucht hat. Die einzige vergleichbare Studie von Lu und KollegInnen (2014) zeigte eine positive Korrelation zwischen dem Volumen grauer Substanz im bilateralen ACC (wichtiger neuronaler Generator der Fehlerkomponenten, siehe oben und Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004) und Trait Achtsamkeit gemessen mit der MAAS (Brown & Ryan, 2003). Bisher gibt es noch keine Untersuchungen zu Fehlerentdeckung oder dem Vergleich von entdeckten und unentdeckten Fehlern im Zusammenhang mit Achtsamkeit.

Meditation steigert die intellektuelle Performanz, gemessen anhand der Fehler und Reaktionszeit bei einer Stroop-Aufgabe (Wenk-Sormaz, 2005; Moore & Malinowski, 2009; Teper & Inzlicht, 2012). Die Fähigkeit zum schnellen Wechsel der Aufmerksamkeit gemessen mit dem Internal Switching Task wird gesteigert (Chambers, Lo & Allen, 2008). Bei dieser Aufgabe werden aus zwei semantischen Wortkategorien Wörter präsentiert und diese müssen nach Kategorie getrennt gezählt werden, wobei als Messwert die Reaktionszeitdifferenz zwischen Durchgängen, in denen die Kategorie gewechselt oder nicht gewechselt wird, berechnet wurde. Außerdem wird durch Meditation Konfliktüberwachung verbessert, welche mit dem ANT (Fan et al., 2002) erhoben wurde (Jha, Krompinger & Baime., 2007, Tang et al., 2007). Auch anhaltende Aufmerksamkeit wird gesteigert (Semple, 2010), sichtbar durch eine verbesserte Diskriminierbarkeit der Reize in einer Go/No-Go-Aufgabe (Continuous Performance Test; Rosvold, Mirsky, Sarason, Bransome Jr. & Beck, 1956).

Querschnittsuntersuchungen, also ein Vergleich von Langzeit-Meditierenden und Laien, führten zu einigen Schwierigkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse. Zunächst ist es unmöglich, den ProbandInnen den Hintergrund der Studie zu verheimlichen, es findet also kein Doppelblindverfahren statt. Weiterhin gibt es konfundierende Effekte von Motivation, Anforderungsmerkmalen und Ergebniserwartungen, die die Untersuchungsergebnisse signifikant beeinflussen können (Baskin, Tierney, Minami & Wampold, 2003). Zudem können Schlaf, Ernährung und auch verschiedene Persönlichkeitsmerkmale im Vergleich von Laien und Langzeit-Meditierenden unterschiedlich sein. Langzeit-Qigong-Meditierende hatten im Vergleich zu Laien zum Beispiel höhere Werte der Emotionalen Stabilität (Leung & Singhal, 2004).

3.3 (Neurophysiologische) Modelle der Achtsamkeit

Aufgrund verschiedener empirischer Ergebnisse bezüglich Trait Achtsamkeit und Achtsamkeitsmeditation wurden von verschiedenen AutorInnen unten beschriebene Modelle entworfen, die diese Ergebnisse erklären und in Beziehung setzen sollen. Beim Beschreiben der Modelle werden hier insbesondere die relevanten Mechanismen bezüglich eventueller Überlappung zur Fehlerverarbeitung vertieft besprochen, also insbesondere die Mechanismen der Aufmerksamkeits- und Emotionsregulation, sowie exekutives Monitoring und metakognitive Strategien.

3.3.1 Das Liverpool-Modell

Malinowski (2013) entwickelte ein Prozess-Modell zur Erklärung der psychologischen und physiologischen Bedingungen, Wirkmechanismen und Outcomes der Achtsamkeitspraxis: das *Liverpool-Modell*. Dabei differenzierte er fünf Ebenen (siehe Abbildung 6): Die (1.) *motivationalen Faktoren* (Motivation, Intention, Erwartungen und Einstellungen), die zum (2.) *Mentalen Training* (Achtsamkeitspraxis) führen. Die (3.) *Kernprozesse des Trainings* sind dabei die Verbesserung von Funktionen der *Aufmerksamkeit*, die mit *kognitiver und emotionaler Flexibilität* interagieren und diese leichter ermöglichen. Kognitive und emotionale Flexibilität führen bei regelmäßiger Praxis zu dem Nicht-urteilenden Gewahrsein als ausgeglichenen (4.) *mentalen Zustand*, was letztlich verschiedene positive (5.) *Outcomes* erzeugt, also physisches und mentales Wohlbefinden und auf Verhaltensebene Handeln mit Gewahrsein, flexibles Handeln und autonomes Handeln.

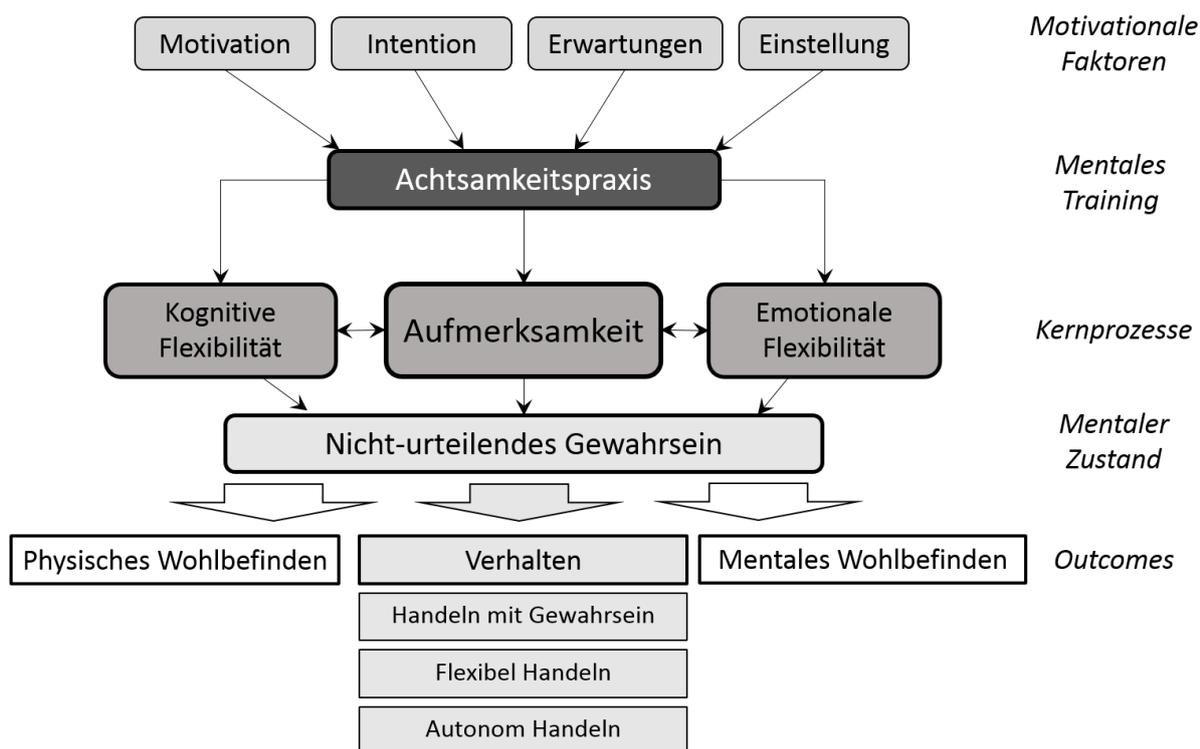


Abbildung 6: Liverpool-Modell zur Erklärung der Prozesse der Achtsamkeitspraxis, nach Malinowski (2013, S. 3).

Malinowski (2013) trägt zur empirischen Fundierung seines Modells verschiedene Studienergebnisse zu Stroop-Konfliktverhalten und Fehlerverarbeitung zur Erklärung der Aufmerksamkeitskontrollprozesse bezüglich Meditation zusammen. Er diskutiert den Befund von Teper und Inzlicht (2013), dass die Ne/ERN-Amplituden für Meditierende größer waren, und stellt die These auf, dass Emotionsregulationsfähigkeiten (und damit emotionale Flexibilität als Kernprozess der Achtsamkeitspraxis) die Performanz bei exekutiven Kontrollaufgaben beeinflusst und dass solche Effekte nicht in longitudinalen Studien (Untersuchungen im Vergleich von vor und nach einem Meditationstraining), sondern nur in Querschnittsuntersuchungen (also Meditierende versus Novizen) sichtbar werden. Er begründet dies, weil der emotionale Einfluss und damit die trainierte emotionale Flexibilität im ersten Kontakt mit der Aufgabe noch wichtig sind, danach bei wiederholter Aufgabenbearbeitung aber nachlassen. Aus dieser These folgend schloss Malinowski (2013) weiter, dass Emotions- und Aufmerksamkeitsregulation miteinander eng verbunden seien und er fragte schließlich, inwiefern die Verbesserung der Emotionsregulation der Verbesserung exekutiver Kontrollprozesse vorausgehe oder ob letztere eine Basis für eine verbesserte Emotionsregulationsfähigkeit sei. Zur Beantwortung dieser Frage und Überprüfung seiner

These forderte er mehr Langzeitstudien mit verstärktem Fokus auf emotionale und aufmerksamkeitsbezogene Faktoren. Zudem entwickelte Malinowski (2013) ein Modell zur Erklärung der Prozesse, die spezifisch bei der Fokussierten Aufmerksamkeitsmeditation stattfinden, und verwendet dabei verschiedene neuronale Netzwerke, die hier nur in Kürze vorgestellt werden können. Um den Fokus der Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt aufrechtzuerhalten, spielt ein Netzwerk mit der Funktion der *anhaltenden Aufmerksamkeit* eine primäre Rolle. Wenn es dann zum Abschweifen (*Mind-wandering*) kommt und die Aufmerksamkeit abgelenkt ist, wird das Abschweifen mit Hilfe von *Monitoring* entdeckt, wobei auch der dorsale ACC aktiv wird. Mit Hilfe eines *exekutiven Netzwerks*, das auch den ACC beinhaltet, kann sich dann von dem Objekt gelöst werden und mit Hilfe eines Netzwerks der *Orientierung* gelingt es, die Aufmerksamkeit auf das zu fokussierende Objekt zurückzubringen.

3.3.2 Default Mode Network versus Attention Networks

Das Liverpool-Modell - insbesondere das Modell zur Erklärung der Fokussierten Aufmerksamkeitsmeditation - hat viele Parallelen zu dem Modell von Hasenkamp, Wilson-Mendenhall, Duncan und Barsalou (2012), deren Haupthypothese die Gegenüberstellung von *Default Mode Network* und *Attention Networks* ist (siehe Abbildung 7). In dem Prozess der Fokussierten Aufmerksamkeitsmeditation sind besonders die Attention Networks aktiv, wenn Mind-wandering den Aufmerksamkeitsfokus unterbricht, ist besonders das Default Mode Network aktiv. Diese antikorrelierende Aktivierung der beiden Netzwerke kehrt sich um, wenn Mind-wandering als solches gewahr (*AWARE-Phase*) und darauf der Fokus zum Objekt zurückgeführt (*SHIFT-Phase*) und die Aufmerksamkeit wieder gehalten wird (*FOCUS-Phase*).

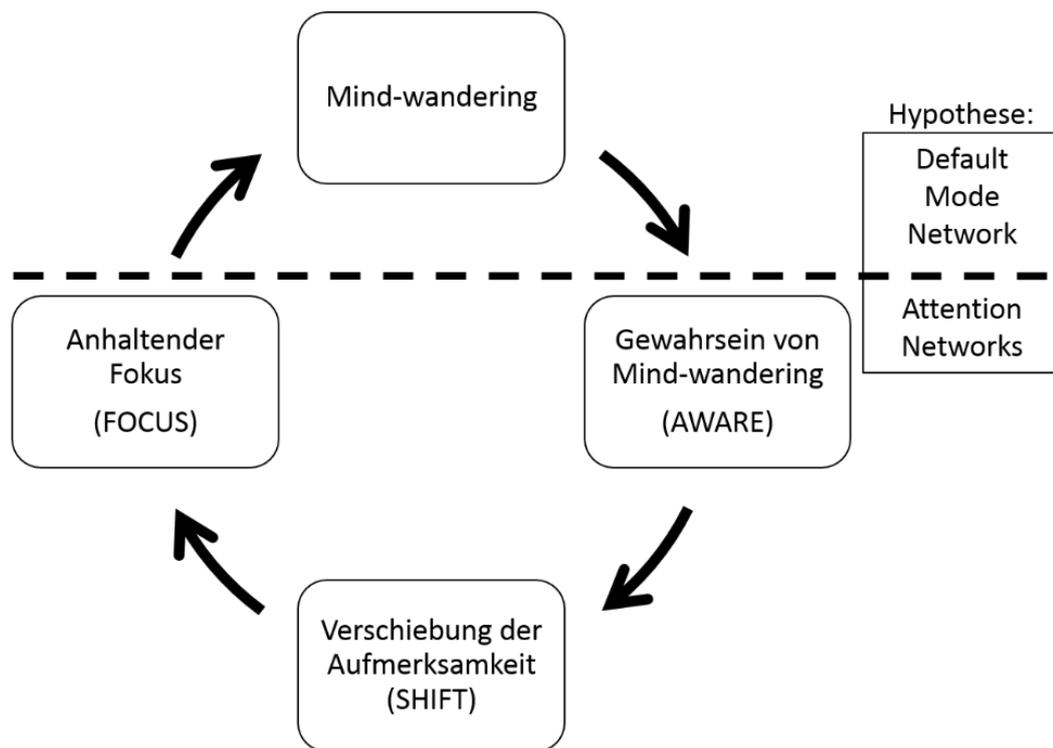


Abbildung 7: Modell zur Erklärung der Fokussierten Aufmerksamkeitsmeditation, nach Hasenkamp und KollegInnen, (2012, S. 751).

Hasenkamp und Barsalou (2012) verwenden dieses Modell und ergänzen die Fundierung des Modells durch Konnektivitätsuntersuchungen verschiedener Gehirnareale. Ihre fMRT-Untersuchung ergab, dass der ACC bei der Entdeckung von Mind-wandering (AWARE-Phase) eine Rolle spielt (vergleiche Monitoring bei Malinowski, 2013). Bei ansteigender Meditationserfahrung sinkt die Aktivität im ACC während der SHIFT-Phase. Konnektivität zum linken ACC war während MW bei hoher Praxiserfahrung im Vergleich zu geringer Erfahrung verringert.

3.3.3 Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell

Vago und Silbersweig (2012) entwickelten das *Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell* (Abbildung 8) zur Erklärung der Wirkmechanismen der Achtsamkeit auf theoretischer und neurobiologischer Ebene mit dem Fokus auf das Selbst und auf selbst-bezogene Verarbeitungsprozesse (*self-processing*). In der vorliegenden Zusammenfassung werden lediglich die für die Arbeit relevanten Mechanismen beschrieben.

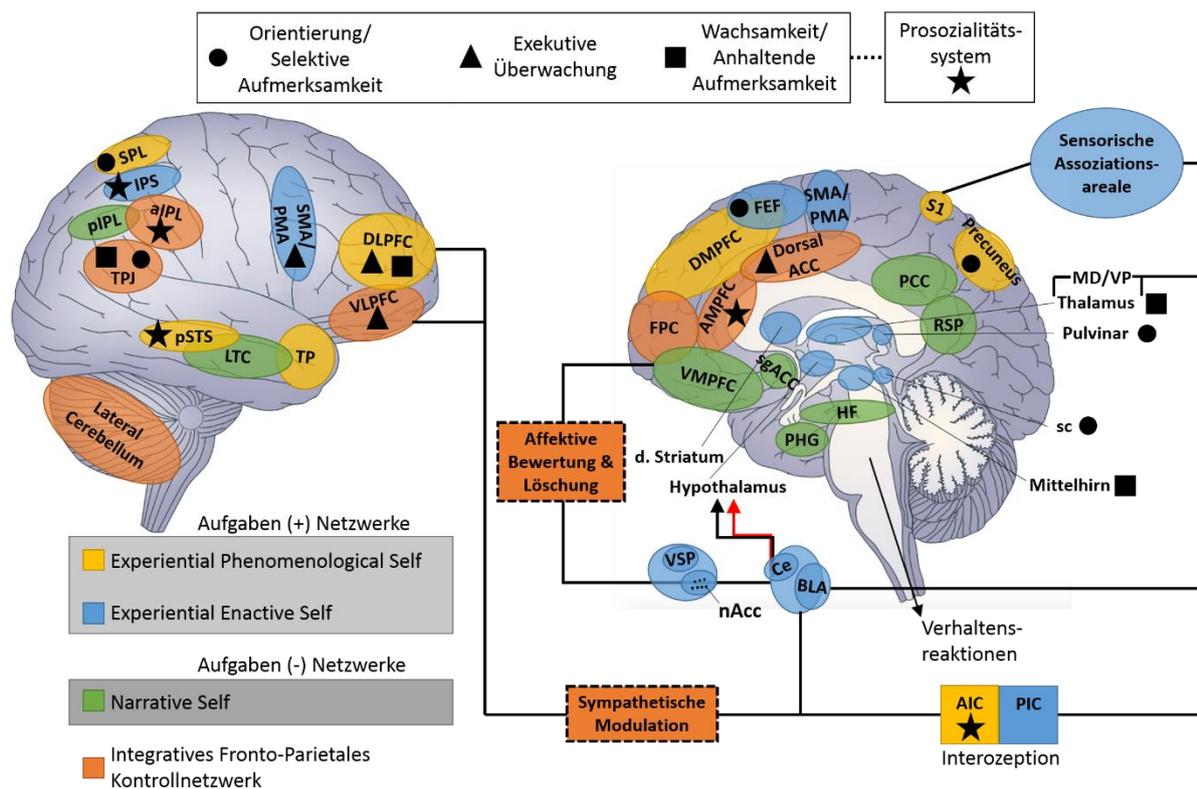


Abbildung 8: Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell, nach Vago und Silbersweig (2012, S. 7). FPCN, fronto-parietal control network; FEF, frontal eye fields; DMPFC, dorsal-medial prefrontal cortex; AMPFC, anterior medial prefrontal cortex; VMPFC, ventromedial prefrontal cortex; PHG, parahippocampal gyrus; HF, hippocampal formation; RSP, retrosplenial cortex; PCC, posterior cingulate cortex; Dorsal ACC, dorsal anterior cingulate cortex; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; VLPFC, ventrolateral prefrontal cortex; TP, temporal pole, LTC, lateral temporal cortex; TPJ, temporoparietal junction; SPL, superior parietal lobe; pIPL, posterior inferior parietal lobe; aIPL, anterior inferior parietal lobe; nAcc, nucleus accumbens; VSP, ventrostriatal pallidum; dstriatum, dorsal striatum; S1, primary somatosensory cortex; AIC, anterior insular cortex; PIC, posterior insular cortex; sgACC, subgenual anterior cingulate cortex; VMpo, ventromedial posterior nucleus; sc, superior colliculus; BLA, basolateral amygdala; CE, central nucleus.

Achtsamkeitstraining fördert ein Meta-Gewahrsein des Selbst (*self-awareness*), die Fähigkeit, effektiv Verhalten zu verändern (*self-regulation*) und in der Beziehung von selbst und anderen, den Fokus vom eigenen Nutzen hin zu prosozialen Charakteristiken zu verschieben (*self-transcendence*). Aufmerksamkeits- und Emotionsregulation gehören zu den relevanten Wirkmechanismen der selbst-bezogenen Verarbeitung. Im S-ART-Modell findet self-processing in drei unterschiedlichen Netzwerken je nach Spezifizierung und Relation statt. Es gibt einmal das *experiential enactive self* (EES), das auf unbewusste, sensorisch-affektiv-motorische Verarbeitungen beruht und grundlegend für die Bearbeitung einer

Reaktionsaufgabe ist. Des Weiteren gibt es das *experiential phenomenological self* (EPS), das bewusst agierende, Selbst-als-Subjekt im Gewahrsein des aktuellen Moments, welches zum Beispiel während der Bearbeitung einer Reaktionsaufgabe relevant ist und in der Meditation aktiviert ist. Zuletzt gibt es das *narrative self* (NS), das Selbst-als-Objekt, als selbst-reflektierende Form der Verarbeitung, was vor allem beim Mind-wandering aktiviert ist und deshalb die Bearbeitung einer Reaktionsaufgabe stört. Alle drei selbst-bezogene Prozesse sind in unterschiedlichen Gehirnarealen verankert und können als neurobiologische Netzwerke abgebildet werden. Neben den drei Netzwerken spielt ein fronto-parietales Kontroll-Netzwerk integrative Rolle, in dem auch der dorsale ACC mit seiner Funktion des exekutiven Monitorings Teil ist und das EPS in seinen Top-down-Aufmerksamkeitskontrollmechanismen und exekutive Kontrollmechanismen unterstützt.

Die beiden Meditationsformen Fokussierte Aufmerksamkeit und Offenes Monitoring verändern mit ihren unterschiedlichen Wirkmechanismen die Aktivität oder sogar die Struktur in den verschiedenen Arealen. Dazu listen Vago und Silbersweig (2012) verschiedene Studien, inwiefern welche Wirkmechanismen mit welchen neurobiologischen Korrelaten verknüpft sind. Die hier relevante Aufmerksamkeitsregulation wurde insbesondere bei Offenem Monitoring bezüglich des phänomenologischen Gewahrseins von Objekten in bewussten Erlebnissen verbessert, ohne dabei den kognitiven Zugang zu steigern. Die Berichtbarkeit von Bewusstseinsinhalten wurde demnach nicht unbedingt verbessert, die nicht-bewussten Prozesse können aber durch das EES effizienter werden. Auch *Meta-Awareness*, die Aufmerksamkeit auf das Gewahrsein an sich gerichtet, ist ein relevanter Teilmechanismus der Aufmerksamkeitsregulation, der dazu dient, den meditativen Zustand zu überwachen und dabei festzustellen, ob der Fokus der Aufmerksamkeit noch auf das Objekt gerichtet ist oder ob Mind-wandering stattfindet.

Die ebenso hier relevante Emotionsregulation wurde von Vago und Silbersweig (2012) in nicht-kognitive und kognitive, beziehungsweise automatische und kontrollierte Strategien aufgeteilt. Während automatische Emotionsregulation, wie die Modulation affekt-bezogener Variablen auf nicht-bewusster Ebene, durch Meditationstraining gefördert wird, werden kognitive Strategien, wie Ablenkung und kognitive Umdeutung, weniger von Langzeitmeditierenden verwendet. Vago und Silbersweig (2012) nennen den ACC als eine der relevanten Areale, die in den emotionalen und kognitiven Kontrollprozessen, wie Entscheidungsfindung, Bewertung und Impulskontrolle, eine Rolle spielt. Als wichtige

Wirkungsmechanismen der Achtsamkeit im Sinne der Emotionsregulation listen Vago und Silbersweig (2012) zum Beispiel Studienergebnisse, die eine verbesserte positive Umdeutung zur Stressregulation, Entkopplung von sensorischen und affektiven Komponenten eines Stressors oder ein schnelleres Absinken zurück zur Baseline nach einer emotionalen Reaktion finden konnten.

Exekutives Monitoring, Meta-Awareness und Emotionsregulation spielen sowohl bei Fokussierter Aufmerksamkeit als auch Offenem Monitoring eine zentrale Rolle. Dies wird sichtbar in den beiden Prozessmodellen, die Vago und Silbersweig (2012) entwickelten (im Folgenden wird nur das Modell der Fokussierten Aufmerksamkeit im Detail vorgestellt, für das Modell des Offenen Monitorings siehe Vago und Silbersweig, 2012, S. 14). Der Prozess der Fokussierten Aufmerksamkeit (Abbildung 9) beginnt mit der Motivation und Intention zur Praxis, die zur Formation eines exekutiven Sets führt, also einer Handlungsanweisung (z.B. Fokus der Aufmerksamkeit auf den Atem als Objekt richten).

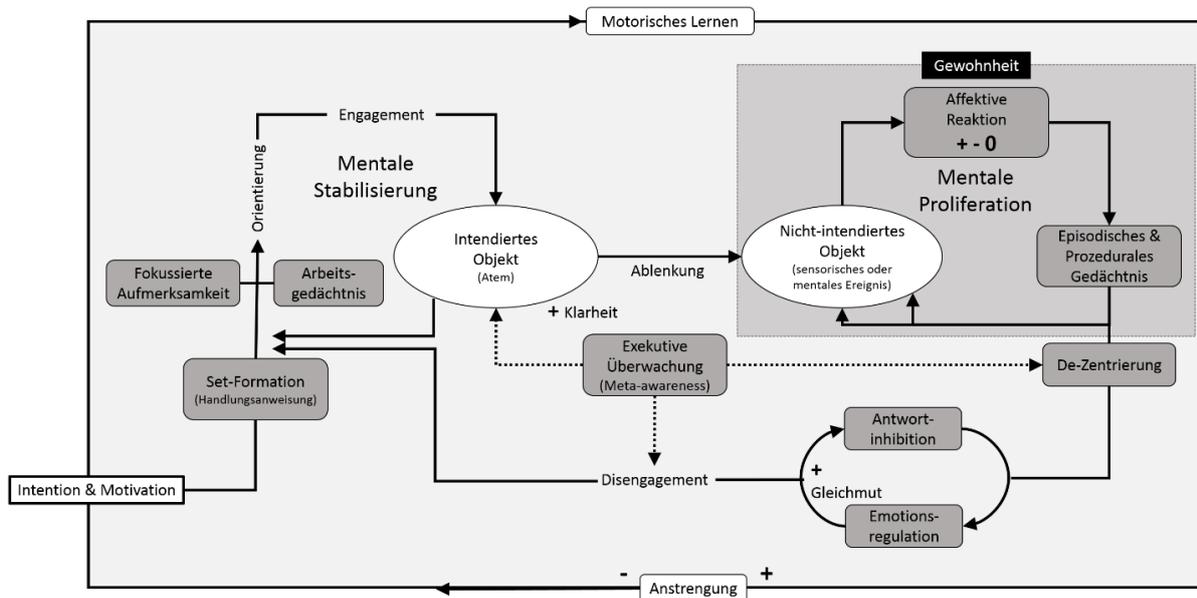


Abbildung 9: Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell zur Erklärung des Prozesses bei Fokussierter Aufmerksamkeitsmeditation, nach Vago und Silbersweig (2012, S. 11).

Das Arbeitsgedächtnis dient zur Unterstützung der Aufrechterhaltung der Praxisinstruktion. Netzwerke der fokussierten Aufmerksamkeit werden aktiviert und durch exekutives Monitoring, Emotionsregulation und Antwortinhibition unterstützt, wobei mentale Stabilisierung entsteht (buddhistisches Konzept der Konzentration auf das Objekt der Meditation). Bei Orientierung und Engagement auf das intendierte Objekt (z.B. der Atem) kann

es zur Ablenkung auf ein nicht-intendiertes Objekt (z.B. ein mentales Ereignis) kommen, was durch episodisches und prozedurales Gedächtnis und mit einer affektiven Antwort aufrechterhalten wird und als gewohnte mentale Proliferation (buddhistisches Konzept einer übermäßigen Nutzung mentaler Konzepte) in Endlosschleife geraten kann. Diese Ablenkung dauert so lange an, bis Gewahrsein und De-Zentrierung zur Antwortinhibition, Emotionsregulation und schließlich Disengagement führen. Meditation der Fokussierten Aufmerksamkeit wird als motorisches Lernen erfasst und die Anstrengung nimmt mit Zunahme der Übung und dem Erlernen der Fähigkeit der Meta-Awareness ab. Klarheit und Gleichmut werden gefördert und beeinflussen die Antwortinhibition und stärken die Aufmerksamkeit auf das Objekt.

Der Prozess des Offenen Monitorings unterscheidet sich im Vergleich zum Prozess der Fokussierten Aufmerksamkeit darin, dass hier das mentale Beachten und Benennen von aufkommenden, vorübergehenden und ausbleibenden Reizen im bewussten Gewahrsein stattfindet, was selbst eine Emotionsregulation darstellt.

3.4 Modelle der Achtsamkeit und Modelle der Fehlerverarbeitung

Die Modelle von Malinowski (2013), Hasenkamp und KollegInnen (2012) und zum Teil auch das S-ART-Modell von Vago und Silbersweig (2012) haben starke Parallelen zu den Annahmen einiger Modelle der Fehlerverarbeitung. Wenn man den Ablauf einer Meditation betrachtet, kann nach diesen Modellen der Akt der Meditation als eine Art Performanzüberwachung gesehen werden. Die Aufgabe ist, den Fokus der Aufmerksamkeit entweder zurück zu einem spezifischen Objekt oder zum aktuellen Moment zu bringen. Schweift man mit der Aufmerksamkeit von dem Objekt ab oder hält an einem (anderen) Objekt fest, ist die Meditationsübung, dieses „Fehlverhalten“ zu bemerken und zu korrigieren, indem der Fokus verschoben wird. Es findet also ein wiederholtes Gewahrsein von „Fehlern“ statt, so dass man Meditation als Übung in Fehlerentdeckung interpretieren kann. Hölzel und KollegInnen (2011) beschreiben relevante Mechanismen zur Wirksamkeit von Achtsamkeit anhand aktueller Forschungsergebnisse und nennen den ACC als assoziiertes Areal, das dazu dient, die Aufmerksamkeit aufrechtzuerhalten und durch Alarmierung der Systeme eine Top-down-Regulation im Falle des Mind-wandering, also im Falle eines Konflikts mit der Aufgabe der anhaltenden Fokussierung auf ein Objekt, zu gewährleisten. Mit Hilfe des ACC kann also zwischen den Systemen (wie Default Mode Network und Attention Networks) gewechselt werden, da es für die kognitive Kontrolle zuständig ist. Diese Funktion ist auch bei der

Emotionsregulation wichtig. Kognitive Neubewertung als ein Bestandteil der Emotionsregulation bezeichnet das Herangehen emotionaler Reaktionen auf eine nichtbewertende, akzeptierende Weise. Dabei spielt vor allem nach Hölzel und KollegInnen (2011) der DLPFC eine Rolle, aber auch der ACC wird von den AutorInnen erwähnt.

Nach der Theorie der Konflikt-Überwachung gibt es ebenfalls diese evaluative Komponente, die die Informationsverarbeitung überwacht (Botvinick, et al., 2001) und das Ausmaß des Bedarfs zur Kontrolle bestimmt die Aktivierung des ACC. Die Übung in Achtsamkeit, bei der diese Kontrollprozesse direkt geschult werden, sollte also langfristig eventuell sogar zu einer Verminderung der Aktivierung des ACC während der Meditation führen, weil der Kontrollbedarf nicht mehr so hoch ist. Hasenkamp und Barsalou (2012) konnten dazu auch erste Belege finden.

Schwieriger ist die Vereinbarung des PRO-Modells (Alexander & Brown, 2011) mit den Modellen der Achtsamkeit, da hierbei von einem Antwort-Ergebnis-Lernen ausgegangen wird. Meditation ist ein Prozess, bei dem es kein Ergebnis gibt. Das Mind-wandering als überraschendes Ergebnis als Verknüpfung mit der Tätigkeit des Meditierens zu betrachten, ist konzeptionell nicht umsetzbar. Mind-wandering findet permanent immer wieder in der Meditationsübung statt und ist deshalb kein überraschendes Ereignis. Nach dieser Ne/ERN-Theorie sollte während der Meditation also eventuell keine vermehrte Aktivität auftreten und demnach auch außerhalb der Meditation das Steigern der Achtsamkeit in keiner Beziehung zu dieser Komponente stehen.

Jedes Abschweifen während der Meditation, wenn es als Fehlverhalten betrachtet wird, verursacht nach der Theorie des Verstärkungslernen (Holroyd & Coles, 2002, Holroyd et al., 2005) zu einer negativen Bewertung von Seiten des Kritiker-Moduls, das dem Akteur-Modul Signale zur Veränderung des Verhaltens schickt. Besonders das (S-ART)-Modell nach Vago und Silbersweig (2012) hat mit seinen Feedback-Schleifen des Moduls der exekutiven Überwachung starke Parallelen. Da Achtsamkeit jedoch konzeptuell zum Bestandteil hat, Ereignisse emotional zu akzeptieren und nicht negativ zu bewerten, sollte ein Training der Achtsamkeit eventuell sogar zu einer Nicht-Bewertung der Fehler führen, die Aktivierung also bei Gültigkeit der Theorie des Verstärkungslernens verringert werden.

Bisher ist offen, ob Meditation entweder auf die Veränderung der Wahrnehmung abzielt, also die perzeptbasierte Ebene der Verarbeitung beeinflusst (also eher Ne/ERN verändert) oder eher die Interpretation der perzeptuellen Reize auf objektbasierter Ebene verändert, was durch

die Pe reflektiert wird (Gibbons et al., 2011). Empirische Untersuchungen könnten deshalb auch über das Konzept der Achtsamkeit an sich Aufschluss geben. Während nach buddhistischer Definition (Dreyfus, 2011) Achtsamkeit vor allem ein Top-down-Prozess ist, in dem Bewertungen stattfinden, aber akzeptiert werden, wäre nach Definition von Bishop und KollegInnen (2004) Achtsamkeit ein nicht bewertender Zustand, also weniger stark top-down-reguliert. Nach erster Definition würde ein Training der Achtsamkeit besonders auf objektbasierter Ebene wirken, nach zweiter Definition wäre Achtsamkeit auf Perzept-Ebene bereits ebenso relevant.

4. Bewertung des Forschungsstands und Forschungsfragen

Meditation kann als Performanz-Monitoring interpretiert werden, da es eine Übung ist, die auf meta-kognitiver Ebene Mind-wandering bewusst macht (z.B. Hasenkamp et al., 2012) und den Fokus zum jetzigen Moment zurückführt. Ne/ERN und Pe sind reliable neuronale Marker für Performanz-Monitoring, sie sind spezifisch für Fehlerverarbeitung, wobei Ne/ERN möglicherweise perzeptbasierte Fehlerverarbeitung, Pe objektbasierte Fehlerverarbeitung abbildet (Gibbons et al., 2011). Der Prozess dieser Komponenten findet im ACC statt (z. B. Yeung et al., 2004), und Veränderungen im ACC konnten nach Meditation festgestellt werden (Übersicht von Britton, Lindahl, Cahn, Davis & Goldman, 2014). Je nachdem, welche der Theorien der Fehlerverarbeitung und welche Theorien der Achtsamkeit Gültigkeit haben, könnte während der Meditation eher der ACC aktiv und die Fehlerkomponenten Pe und Ne/ERN im Falle des Mind-wandering sichtbar werden. Die ständige Schulung und damit Aktivierung dieses Gehirnareals mithilfe von Meditation könnte innerhalb einer Reaktionsaufgabe dann zu einer verbesserten Leistung führen, sichtbar zunächst durch eine gesteigerte Aktivierung und langfristig eventuell sogar zu einer Reduktion der Aktivierung des ACC. Um diese Hypothesen zu überprüfen und Schlüsse zu ziehen, welche Mechanismen eine Rolle während der Achtsamkeitsmeditation spielen und welches Modell der Fehlerverarbeitung gültig ist, sind rigorose Forschungsdesigns nötig.

Wenn man die oben beschriebenen theoretischen Hintergründe und die genannten bisherigen Studien der Achtsamkeitsforschung betrachtet und dabei vor allem die Begrenzungen dieser anschaut, kann man einige Schlüsse ziehen, wie eine optimalere Studie aussehen sollte. Um den reinen Effekt von Achtsamkeit untersuchen zu können, sollte eine aktive Kontrollgruppe verwendet werden, die ein strukturell vergleichbares, aber ein von Achtsamkeitsmeditation unterscheidbares Treatment erhält. Dies wurde bisher selten getan, und als mögliche Vergleichstreatments gäbe es beispielsweise andere Entspannungsverfahren oder Neurofeedback.

Ziel zukünftiger Studien sollte insbesondere darin liegen, dass die Effekte von Achtsamkeitsmeditation differenziert werden können und besonders auf spezifische Mechanismen und zugrundeliegende Komponenten untersucht werden. Dies sollte mit verschiedenen Aufgaben und mit multimodalen Methoden getan werden. Eine Methodologie, die sowohl auf Verhaltensdaten, Selbsturteilen und neurophysiologischen Messmethoden beruht, ist dazu notwendig, um zu differenzieren, welche Mechanismen verantwortlich sind und

welche nicht (Britton, 2013). Wichtig ist zudem, dass die Untersuchungsfrage klar konzipiert ist und die hypothetischen Mechanismen explizit genannt werden.

Außerdem sollten Kontrollaufgaben oder Bedingungen verwendet werden, bei denen man nicht meditationsbezogene Verbesserungen erwartet, damit man Motivations- und Erwartungseffekte kontrollieren kann. So kann eine ProbandIn beispielsweise nach einem Meditationstraining nicht direkt erwarten, bei einer einfachen Reaktionsaufgabe bessere Leistungen zu erlangen. Sichtbare Effekte zum zweiten Messzeitpunkt sind dann selektiver, theoretisch fundierter und können nur schwierig mit Placebo-Effekten erklärt werden.

Eine Längsschnittstudie sollte einer Querschnittsstudie vorgezogen werden, da sie generell eine größere Teststärke verspricht und oben genannte konfundierende Effekte, die bei Querstudien eher vorkommen, vermeidet. Es kann jedoch besonders bei intensivem Meditationstraining, wie zum Beispiel bei einem mehrtägigen Retreat, zu konfundierenden Effekten kommen. Ein intensives Meditationstraining kann nicht nur Achtsamkeit erhöhen, sondern auch den Schlaf-Wach-Zyklus verändern (Britton et al., 2014) und sich im Vergleich zu einem in den Alltag integrierten Training unterschiedlich auf Aufmerksamkeitsprozesse auswirken (Jha et al., 2007). Man kann also nach dem Training nicht unbedingt auf direkte Effekte des Trainings schließen. Sinnvoll wäre deshalb eher ein in den Alltag integriertes Training für sowohl Experimental- als auch Kontrollgruppe.

Studie 1 hat deshalb zunächst das Ziel, eine einfache Reaktionsaufgabe zur Provozierung von Fehlern in Verbindung mit Achtsamkeit als Trait zu testen, damit in Studie 2 bei Eignung der Aufgabe und im Falle eines Zusammenhangs der Fehlerverarbeitung mit Trait Achtsamkeit ein Training der Achtsamkeit nach den hier genannten Vorgaben durchgeführt werden kann.

Die allgemeine Forschungsfrage dieser Arbeit ist also, inwiefern Fehlerverarbeitung und Achtsamkeit zusammenhängen. Sollte sich die Aktivierung im ACC - sichtbar durch die Amplituden der Ne/ERN und Pe - mit höherer Achtsamkeit – sowohl als Trait als auch nach einem spezifischen Achtsamkeitstraining – verändern, kann daraus abgeleitet werden, dass Fehlerverarbeitung und damit Performanzüberwachung bei Meditation eine Rolle spielen. Dies würde dann die Modelle der Achtsamkeit aus dem vorherigen Kapitel unterstützen. Eine spezifische Betrachtung von Ne/ERN und Pe bietet außerdem die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die Modelle der Fehlerverarbeitung zu ziehen.

5. Studie 1: Trait Achtsamkeit und Fehlerverarbeitung

5.1 Forschungsfragen

Ziel der Studie ist bewusste und unbewusste Fehlerverarbeitung im Zusammenhang mit Trait Achtsamkeit zu untersuchen. Es wird erforscht, inwiefern sich ProbandInnen - unabhängig von ihren Meditationserfahrungen - mit höherer Achtsamkeit von ProbandInnen mit niedrigerer Achtsamkeit in ihrer Fehlerverarbeitung unterscheiden. Dabei sollen die Komponenten Fehlernegativität und Fehlerpositivität untersucht werden. Es wird also gefragt, inwiefern sich die Amplituden der Ne/ERN und Pe mit unterschiedlicher Trait Achtsamkeit verändern. Ebenso können andere Persönlichkeitseigenschaften, wie emotionale Stabilität, einen Effekt auf die Amplituden der Ne/ERN und Pe haben (Luu et al., 2000; Segalowitz & Dywan, 2009). Achtsamkeit und emotionale Stabilität hängen stark positiv miteinander zusammen (Giluk, 2009), beschreiben jedoch nicht genau die gleichen Charakteristiken. Während Achtsamkeit eine meta-kognitive Fähigkeit ist, die sich als Trait manifestiert hat (siehe oben), ist emotionale Stabilität eine eher stabile Basiseigenschaft, eine der fünf Big-Five Faktoren (Costa & McCrae, 1992). Emotionale Stabilität kann als eine mögliche Moderator-Variable gesehen werden, wie in früheren Studien gezeigt werden konnte: So profitierten Medizin- und Psychologie-StudentInnen mit geringer emotionaler Stabilität mehr von einem Meditationstraining (Vibe et al., 2015). Achtsamkeit kann zu vielen verschiedenen kognitiven Fähigkeiten führen, die sich je nach Individuum im unterschiedlichen Ausmaß manifestieren können. Diese Unterschiede können möglicherweise durch eine Varianz der Emotionalen Stabilität erklärt werden.

Um die möglichen Unterschiede der Fehlerentdeckung in Bezug auf Trait Achtsamkeit zu untersuchen, wurde eine modifizierte Fehlerentdeckungsaufgabe (Details siehe unten) verwendet, in der die ProbandInnen nach jedem Durchgang der Reaktionszeitaufgabe gefragt wurden, ob ihre Antwort richtig oder falsch war (vergleichbar mit Endrass et al., 2005; einen Überblick gibt Wessel, 2012).

Basierend auf den oben aufgeführten Befunden (Luu et al., 2000; Teper & Inzlicht, 2012), werden folgende Forschungsfragen aufgestellt:

1. Können individuelle Unterschiede in den Amplituden der Ne/ERN und Pe durch Unterschiede in der Trait Achtsamkeit erklärt werden?
2. Inwiefern dient emotionale Stabilität als sinnvoller Moderator in diesem Zusammenhang?

3. Gibt es Unterschiede zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern in Bezug auf Ne/ERN- und Pe-Amplitude und variieren diese Unterschiede mit Unterschieden der Trait Achtsamkeit?
4. Inwiefern kann Trait Achtsamkeit Unterschiede in Verhaltensmessungen der exekutiven Kontrolle erklären? Dabei sollen Reaktionszeit, RTSD, Fehlerrate und Fehlerentdeckungsrate betrachtet werden.
5. Inwiefern dient emotionale Stabilität als sinnvoller Moderator in diesen Zusammenhängen?

5.2 Methode

5.2.1 Stichprobe

Von den 60 getesteten ProbandInnen konnten Daten von 16 ProbandInnen aufgrund von geringer (also weniger als sechs Durchgänge in einer Bedingung, $N = 4$) Fehler- oder Falscher Alarm-Rate (Erläuterung siehe unten) oder aufgrund von technischer Probleme, wie defekter Elektroden ($N = 12$), nicht analysiert werden. Ausreißer-Analysen (Ausreißer = mehr als das Dreifache des Interquartilsabstands) ergaben zwei Ausreißer der Ne/ERN-Amplituden für Falsche Alarm-Durchgänge und einen für korrekte Durchgänge, sowie einen Ausreißer für RTSD. Von den 40 übrigen ProbandInnen (18 männlich, 22 weiblich) im Alter von 19 bis 40 Jahren (Mittelwert, $M = 26.1$, Standardabweichung, $SD = 5.6$) waren 25 ProbandInnen Psychologiestudierende, die für die Untersuchung Versuchspersonenstunden verdienten. Die übrigen 15 ProbandInnen wurden aus dem lokalen Umfeld rekrutiert und erhielten €8 pro Stunde. Alle ProbandInnen hatten normale oder korrigierte Sehkraft. Von allen wurde ein Versuchspersonenvertrag ausgefüllt. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Deutschen Gesellschaft für Psychologie genehmigt.

5.2.2 Simon-Aufgabe

Als Paradigma zum Evozieren von Fehlern und zur Überprüfung der Fehlerentdeckung wurde eine modifizierte Simon-Aufgabe (Simon, 1969) verwendet, bei der die ProbandIn nach bestimmten Regeln auf Pfeile reagieren sollte und nach den Durchgängen einschätzen sollte, ob sie falsch oder richtig reagierte. Im Folgenden wird die Aufgabe detailliert beschrieben (siehe Abbildung 10).

Apparat und Stimuli. Die Reaktionszeit wurde mit Hilfe von zwei kraftsensitiven Tasten gemessen, wobei jede der Tasten zur vollständigen Unterstützung des Unterarms an einem Brett befestigt wurde. Die ProbandIn sollte durch ein kurzes Drücken des rechten oder linken Zeigefingers reagieren. Dabei wurde der Druck mit einem Druckstreifen gemessen, der am festen Ende einer Sprungfeder befestigt war (11.0 x 1.9 x 0.2 cm), die mit einer Klammer an dem einen Ende der Taste festgehalten wurde, während die ProbandIn das freie Ende drücken konnte. Wenn die ProbandIn die Taste drückte, wurde ein mit der Kraft korrespondierendes analoges elektrisches Signal weitergeleitet. Das Signal wurde für 2000 ms mit einer Abtastrate von 500 Hz ab Beginn der Präsentation des visuellen Stimulus aufgenommen. Die Reaktionszeit wurde als erster Zeitpunkt nach Stimulus-Onset definiert, wenn die Kraft den Kriteriumswert von 50 cN (etwa 50 g) überschritt. Um eine stabile Position des Oberkörpers und Kopfes zu gewährleisten, wurde eine Kinnstütze mit einem Abstand von 58 cm zum 17-Zoll-SVGA Bildschirm verwendet.

Zwei entweder weiß oder cyan-blau (sRGB [0, 255, 255]) gerahmte, schwarze Kästen (vertikaler Gesichtswinkel: 0.97° ; einzelne horizontale Gesichtswinkel: 1.42°) wurden jeweils rechts und links vom Zentrum des schwarzen Bildschirms (voller horizontaler Gesichtswinkel: 3.73°) präsentiert (horizontaler Gesichtswinkel vom Zentrum des Bildschirms bis zum Zentrum der Kästen: 1.15°). Der Aufforderungsstimulus war ein Pfeil (> oder <), der entweder im linken oder rechten Kasten erschien.

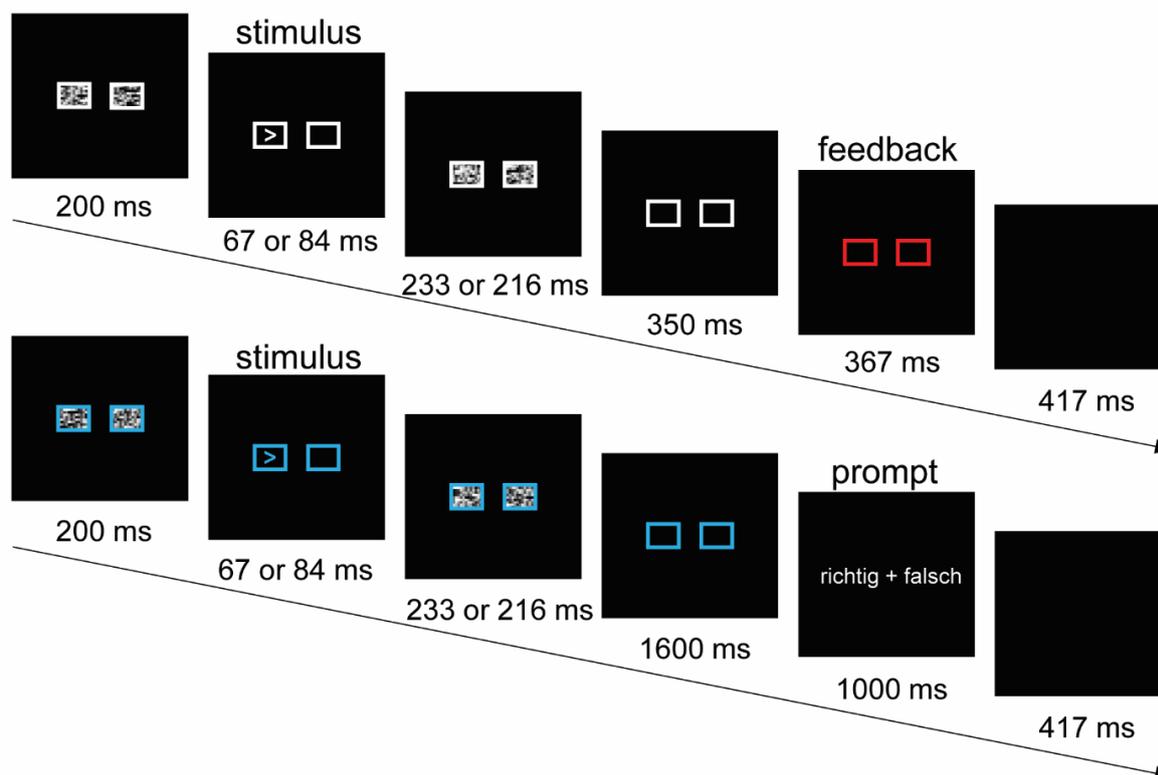


Abbildung 10: Simon-Aufgabe. Die Aufgabe der ProbandIn war abhängig von der Farbe des Rahmens der Kästen. In der weißen Bedingung (obere Reihe, Position) sollte die ProbandIn auf die Position des Pfeiles reagieren (im rechten oder linken Kasten) unabhängig von der Richtung des Pfeils. In der cyan-blauen Bedingung (untere Reihe, Richtung) sollte die ProbandIn auf die Richtung des Pfeiles reagieren (entweder links: < oder rechts: >) und dabei die Position ignorieren. In der Richtungsbedingung erfolgte nach der Bearbeitung des Durchgangs eine Abfrage, ob der Durchgang richtig oder falsch bearbeitet wurde.

Ablauf. Das Experiment bestand aus zwölf Blöcken mit jeweils 116 Durchgänge und dauerte insgesamt etwa 50 Minuten. Das Paradigma entsprach einer modifizierten Simon-Aufgabe (Simon, 1969), die darin bestand, dass die ProbandIn in Abhängigkeit von der Farbe der Rahmung der Kästen auf die Pfeile reagieren sollte (siehe Abbildung 10). In der weißen Bedingung (Position) sollte die ProbandIn auf die Position des Pfeiles reagieren (im rechten oder linken Kasten), unabhängig von der Richtung des Pfeiles. In der cyan-blauen Bedingung (Richtung) sollte die ProbandIn auf die Richtung des Pfeiles reagieren (entweder links: <; oder rechts: >) und dabei die Position des Pfeils ignorieren. Bei jedem Durchgang wurden die beiden Kästen zunächst mit einem Punktmuster mit weißem Rauschen (Maske) für 200 ms gefüllt. Danach wurde ein Pfeil (entweder > oder <) in einer der Kästen gezeigt. Die Maske wurde für 233 ms (bei einer Stimulus-Präsentationsdauer von 67 ms) oder für 216 ms (bei einer Stimulus-Präsentationsdauer von 84 ms) erneut präsentiert. In der Positions-Bedingung (weiß), wurden

die Kästen für 350 ms leer präsentiert, gefolgt von einer Rückmeldung (der Rahmen wurde für 367 ms rot), wenn die Reaktionszeit langsamer als 550 ms war. In der Richtungs-Bedingung (cyan-blau), wurden die leeren Kästen für 1600 ms gezeigt und es folgte eine Entdeckungsaufgabe, bei der die Worte „richtig + falsch“ für 1000 ms gezeigt wurden (horizontaler Gesichtswinkel: 3.24° , weiße Schrift auf schwarzem Bildschirm). Hierbei war die Aufgabe der ProbandIn zu entscheiden, ob ihre vorherige Reaktion richtig oder falsch war. Daraufhin folgte ein leerer Bildschirm für 417 ms und der nächste Durchgang begann.

Um die Antworttendenz hin zur Positions-Bedingung zu steigern, bestand jeder Block aus randomisiert präsentierten 80 Positions-Durchgängen und 36 Richtungs-Durchgängen. Während die Pfeilposition und -richtung in den Positions-Durchgängen zu jeweils 50% kongruent und inkongruent waren, waren zwei Drittel der 36 Richtungs-Durchgänge inkongruent. Dies und der Wechsel zwischen den beiden Regeln dienten der Erhöhung der Fehlerwahrscheinlichkeit in der Richtungs-Bedingung. Die Präsentationsdauer (67 ms und 84 ms) variierte gleich verteilt zwischen den Blöcken (die Ordnung der Blöcke war randomisiert für jede ProbandIn) um Effekte der Stimulus-Sichtbarkeit untersuchen zu können. Da so jedoch nicht die notwendige Anzahl an Durchgängen für jede Bedingung (> fünf Durchgänge, siehe 5.2.3) erreicht werden konnten, mussten die zwei Bedingungen in den statistischen Auswertungen zusammengefasst werden. Zwischen den Blöcken gab es die Möglichkeit zu einer kurzen Pause, die die ProbandIn selbstständig beenden konnte.

Fehlerentdeckungsparadigma. Um potentielle Variationen der bewussten Fehlerentdeckung in Bezug zu Achtsamkeit untersuchen zu können, wurde ein abgewandeltes Fehlerentdeckungsparadigma benutzt (für eine Übersicht, siehe Wessel, 2012). In der Richtungs-Bedingung wurde nach jedem Durchgang gefragt, ob die gegebene Antwort falsch oder richtig war. Das Versuchsdesign ermöglichte Durchgang also den Vergleich zwischen vier verschiedenen Antworttypen in der Richtungs-Bedingung: korrekte Antworten, die als „richtig“ entdeckt wurden, korrekte Antworten, die als „falsch“ eingestuft wurden („Falscher Alarm“), falsche Antworten, die als falsch entdeckt wurden („entdeckter Fehler“) und falsche Antworten, die als „richtig“ eingestuft wurden („unentdeckter Fehler“). Diese vier Antworttypen können mit Hilfe der Signalentdeckungstheorie (Green & Swets, 1966) interpretiert werden, wobei die entdeckten Fehler als „Hits“ klassifiziert werden und die korrekten, aber als falsch eingeschätzten, Durchgänge als „Falscher Alarm“. Man kann also das Entscheidungskriterium c (Antwort-Bias, ein höherer Wert entspricht weniger falsche Alarms und mehr unentdeckte

Fehler) und die Sensitivität d' (ein höherer Wert entspricht einer besseren Fehlerentdeckung) berechnen:

$$c = -0.5 \cdot [z(\text{Hitrate}) + z(\text{Falscher Alarmrate})],$$

$$d' = z(\text{Hitrate}) - z(\text{Falscher Alarmrate}),$$

wobei die Funktion $z(p)$, $p \in [0,1]$ eine umgekehrte kumulative Gaußsche Verteilungsfunktion ist.

Die individuelle mittlere Reaktionszeit für jeden Antworttyp, sowie die RTSD innerhalb einer ProbandIn, gemessen als Standardabweichung der Reaktionszeiten für jeden Antworttyp, dienen als zusätzliche abhängige Verhaltensvariablen.

5.2.3 Elektrophysiologische Datenerhebung

Das EEG wurde mit Ag/AgCl-Elektroden (actiCAP, Brain Products) gemessen, die an 61 Stellen auf der Kopfhaut angebracht wurden und am linken Mastoiden referenziert wurden. Die Kopfhaut-Elektroden (FP1, FP2, AF7, AF3, AF4, AF8, F7, F5, F3, F1, Fz, F2, F4, F6, F8, FT7, FC5, FC3, FC1, FCz, FC2, FC4, FC6, FT8, T7, C5, C3, C3', C1, Cz, C2, C4, C4', C6, T8, TP7, CP5, CP3, CP1, CPz, CP2, CP4, CP6, TP8, P7, P5, P3, P1, Pz, P2, P4, P6, P8, PO7, PO3, POz, PO4, PO8, O1, Oz, O2) wurden nach dem internationalen, standardisierten 10-20-System nach Jasper (1958) ausgerichtet. Zusätzlich wurden ein vertikales und horizontales Elektroofokulogramm (EOG) durch Elektroden am linken Auge (eine Elektrode infraorbital und die andere 2 cm lateral vom äußeren Canthus) gemessen.

Die Aufzeichnung des EEG erfolgte mit Hilfe eines BrainAMP DC (Brain Products) Verstärkers kontinuierlich mit einer Abtastrate von 500 Hz. Ein Online-Band-Pass-Filter (DC – 70 Hz) wurde für alle Elektroden-Kanäle angewandt. Das EEG wurde offline analysiert und es wurde ein reaktionssynchronisiertes Verfahren als mittelnde Technik verwendet. Olvet und Hajcak (2009) erreichten bereits bei einer Mittelung von nur sechs Fehler-Durchgängen eine gute Quantifizierung der Ne/ERN und Pe. Die Kurven der ERP waren reaktionsbezogen und basierten auf einem Bereich von 100 ms vor bis 500 ms nach dem Beginn der Antwort. Als Baseline wurden der Bereich von 100 ms vor der Antwort gewählt. Eine Artefakt-Korrektur erfolgte an dem gesamten Datensatz und Durchgänge mit Amplituden, die $\pm 150 \mu\text{V}$ über- oder unterschritten, wurden abgelehnt. Mit Hilfe der Current Source Density (CSD; Perrin, Pernier, Bertrand & Echallier, 1989) Transformation wurden die ERP-Kurven generiert, da sie eine

klarere räumliche Auflösung als traditionelle ERP-Kurven bieten. Als abhängige, elektrophysiologische Variablen wurden die Ne/ERN- und Pe-Amplituden in ihrer Maximalhöhe (*Peak-Amplitude*) separat für jeden Antworttyp und jede ProbandIn bestimmt. Die Ne/ERN wurde als der negativste Punkt im Zeitfenster von 0 bis 180 ms nach Antwortbeginn an der Elektrode FCz definiert. Die Pe wurde als der positivste Punkt im Zeitfenster von 120 bis 300 ms nach Antwortbeginn an der Elektrode Cz definiert. Die beiden Bereiche wurde durch visuelle Inspektion der Topografie der Komponenten bestimmt (siehe Hirnkartierungen, Abbildung 11) und wurden bereits in vorherigen Studien verwendet (siehe Übersicht von Wessel, 2012).

Niedrige Achtsamkeit ($N = 21$) Hohe Achtsamkeit ($N = 19$)

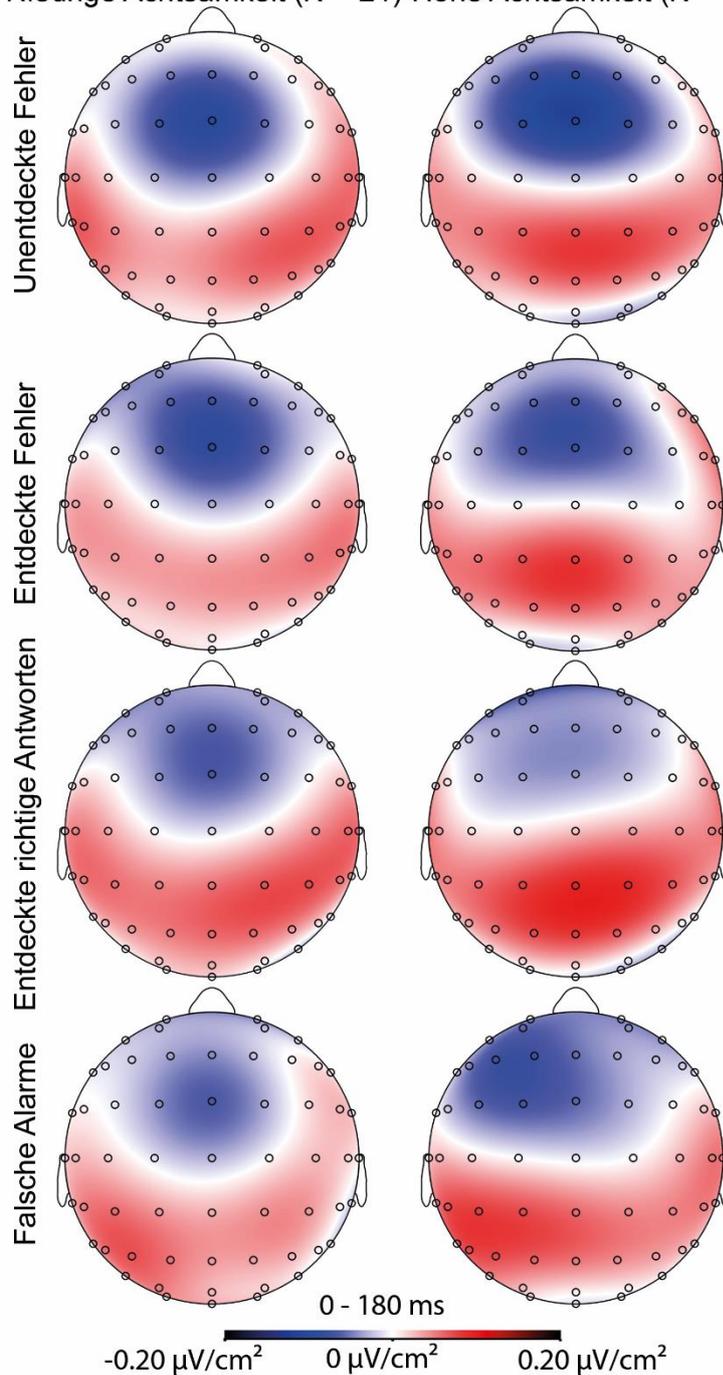


Abbildung 11: Hirnkartierungen für den mittleren Zeitbereich von 0 – 180 ms (Reaktionsbeginn bei 0 ms) nach Mediansplit (bei 2.79) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 19$) und niedrigen ($n = 21$) Werten der Achtsamkeit für entdeckte und unentdeckte Fehler, korrekte Durchgänge und Falsche Alarme.

5.2.4 Fragebögen

Achtsamkeit (FFA). Um Trait Achtsamkeit im deutschsprachigen Raum zu erheben, gibt es drei Möglichkeiten (siehe 4.4). In dieser Studie wurde der *Freiburger Fragebogen zur Achtsamkeit* (FFA) in seiner Kurzversion (Buchheld & Walach, 2002) verwendet. Eine Hauptkomponentenanalyse (Walach et al., 2004) ergab einen Globalfaktor und eine Reliabilität von Cronbach's alpha = .87. Die Stichprobe dabei bestand lediglich aus Laien, so dass man davon ausgehen kann, dass das Konzept der Achtsamkeit auch ohne Buddhistischen Hintergrund verstanden werden kann. Die Validität des FFA wurde von Buttenmüller und Kleinknecht (2001) daran festgemacht, dass es zu einem Anstieg des Faktorwertes nach sieben bis elf Tagen eines Achtsamkeitstrainings kam und dass der Wert mit Meditationserfahrung positiv korreliert. Die vorliegende Studie ergab ein Cronbach's alpha von .76.

Achtsamkeit (MAAS). Außerdem wurde die deutsche Version der *Mindful Attention and Awareness Scale* (MAAS; Michalak et al., 2008) verwendet. In dessen Reliabilitätsstudie ergab sich ein Cronbach's alpha von .83, in der vorliegenden Studie .75. Die konvergente Validität konnte durch eine Korrelation mit dem FFA von $r = .43$ (Michalak et al., 2008; in dieser Studie $r = .40$, $p < .01$) gezeigt werden. Da der MAAS nur Nicht-Gewahrsein in alltäglichen Situationen abfragt, liegt der Fokus dieser Studie auf dem globaleren Achtsamkeitswert des FFA. Alle Analysen, die mit dem FFA berechnet wurden, wurden auch mit dem MAAS berechnet, es gab jedoch keine signifikanten Ergebnisse bezüglich der Fragebogendaten im Zusammenhang mit den neurophysiologischen oder Verhaltensdaten (siehe Anhang: Tabelle 1 und Anhang: Tabelle 2). Der dritte ins Deutsche übersetzte Fragebogen KIMS (Baer et al., 2004) wurde in dieser Studie nicht verwendet, da gezeigt wurde, dass er weniger homogen und ökonomisch war (Höfling, 2010).

Emotionale Stabilität (TIPI). Zum Messen des Faktors Emotionale Stabilität, einer der Faktoren des Big Five, wurde die deutsche Version des „Ten Item Personality Inventory“ (TIPI-G; Muck, Hell, & Gosling, 2007) verwendet, der eine Reliabilität von Cronbach's alpha = .67 aufweist und dessen Faktor Emotionale Stabilität mit dem gleichnamigen Faktor des Big-Five Inventory (John & Srivastava, 1999) zu .81 korreliert. Dieser siebenstufig skalierte Kurzfragebogen (1 – trifft überhaupt nicht zu bis 7 – trifft voll und ganz zu) ist deshalb eine ökonomische Möglichkeit, die Big Five valide zu messen. Emotionale Stabilität (oder umgekehrt Neurotizismus) wurde mit den beiden Items „Ich sehe mich selbst als: ...ängstlich, leicht aus der Fassung zu bringen.“ und „...gelassen, emotional stabil.“ erfragt. In der

vorliegenden Studie ergab sich ein Cronbach's alpha von .77 und ein Spearman-Brown Koeffizient (der bei einer Zwei-Item-Skala zu bevorzugen ist, Eisinga, Grotenhuis & Pelzer, 2013) von .78.

5.2.5 Statistik

Ein Allgemeines Lineares Modell (ALM, univariate Messwiederholung) wurde für jede abhängige Variable (Reaktionszeit, RTSD, Ne/ERN- und Pe-Amplitude) berechnet. Jedes ALM bestand aus den zwei Innersubjekt-Faktoren *Antworttyp* (korrekt, falsch) und *Entdeckung* (entdeckt, unentdeckt), resultierend in entdeckte richtige, unentdeckte richtige Durchgänge (falscher Alarm-Durchgänge), entdeckte Fehler und unentdeckte Fehler, und den zwei kontinuierlichen Variablen *Achtsamkeit* (FFA) und *Emotionale Stabilität* (jeweils zentralisiert) sowie deren Interaktion (berechnet als Produkt) als Kovariaten. Signifikante Interaktionen wurden mit Bonferroni-korrigierten, alpha-adjustierten Post-Hoc-Vergleichen untersucht. Die Effektgrößen werden als partielle η^2 angegeben.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Selbstberichte

Der Mittelwert des FFA betrug 2.85 ($SD = 0.40$, *Range* = 1.86 bis 3.57), der mittlere MAAS-Wert war 3.90 ($SD = 0.60$, *Range* = 2.40 bis 5.07) und die mittlere emotionale Stabilität (TIPI) war 5.13 ($SD = 1.31$, *Range* = 2.5 bis 7). Damit kann man von einem ausreichenden Bereich der Werte ausgehen, um individuelle Unterschiede betrachten zu können. Lediglich sehr niedrige Werte der Achtsamkeit gemessen mit dem MAAS und sehr niedrige Werte der emotionalen Stabilität waren in der Stichprobe nicht vorhanden.

Es konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen Emotionaler Stabilität und Achtsamkeit beobachtet werden (FFA: $r = .484$, $p < .01$, MAAS: $r = .536$, $p < .001$). Für die weiteren Analysen wurden die Variablen zentralisiert (*Range* für FFA: -1.00 bis 0.72; MAAS: -1.50 bis 1.16; Emotional Stabilität: -2.63 bis 1.88).

5.3.2 Verhaltensleistungen

Reaktionszeit. In Tabelle 2 werden Reaktionszeit und RTSD für die unterschiedlichen Antworttypen präsentiert. Mit Reaktionszeit als abhängige Variable und Achtsamkeit (FFA) und Emotionale Stabilität als kontinuierliche Kovariaten ergab ein 2 x 2 ALM einen signifikanten Haupteffekt für den Antworttyp [$F(1, 36) = 39.85$, $p < .001$, $\eta^2 = .525$] (für alle

Effekte siehe Tabelle 3). ProbandInnen antworteten schneller in fehlerhaften (Mittelwert, $M \pm$ Standardfehler der Mittelwerte, SEM ; 376 ± 17 ms) als in richtigen Durchgängen (432 ± 21 ms). Außerdem gab es einen signifikanten Effekt für die Entdeckung [$F(1, 36) = 47.63, p < .001, \eta^2 = .570$]. Antworten, die danach richtig eingeschätzt, also entdeckt wurden (376 ± 17 ms), wurden schneller abgegeben als solche bei unentdeckten Durchgängen (431 ± 21 ms). Der Interaktionseffekt, sowie die Interaktionseffekte mit den Kovariaten oder die Haupteffekte der Persönlichkeitsfaktoren waren nicht signifikant (für alle $p > .1$).

Tabelle 2: Mittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte) der Reaktionszeit und Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Antworthäufigkeit und Peak-Amplituden von Ne/ERN und Pe für die unterschiedlichen Antworttypen ($N = 40$).

		Korrekt	Fehler
Reaktionszeit [ms]	Entdeckt	400 (18)	353 (18)
	Unentdeckt	464 (25)	399 (18)
RTSD [ms]	Entdeckt	123 (3)	152 (6)
	Unentdeckt	156 (6)	149 (5)
Häufigkeit [%]	Entdeckt	55.25 (2.46)	21.61 (1.83)
	Unentdeckt	8.45 (0.95)	14.69 (1.71)
Ne/ERN [$\mu V/cm^2$]	Entdeckt	-0.177 (0.017)	-0.262 (0.021)
	Unentdeckt	-0.220 (0.018)	-0.236 (0.019)
Pe [$\mu V/cm^2$]	Entdeckt	0.108 (0.014)	0.141 (0.016)
	Unentdeckt	0.145 (0.020)	0.112 (0.014)

Reaktionszeitvariabilität. Bezüglich der generellen RTSD innerhalb der ProbandInnen konnte eine signifikante negative Korrelation mit Achtsamkeit (FFA) ($r = -.37, p < .05$) und mit emotionaler Stabilität ($r = -.39, p < .01$) gefunden werden, nicht jedoch mit Achtsamkeit gemessen mit dem MAAS ($r = -.16, p = .34$).

Mit RTSD als abhängige Variable, Achtsamkeit (FFA) und Emotionale Stabilität als kontinuierliche Kovariaten konnten signifikante Effekte für den Antworttypen [$F(1, 36) = 7.28, p < .05, \eta^2 = .168$] und die Entdeckung [$F(1, 36) = 6.21, p < .05, \eta^2 = .147$] nachgewiesen werden (M und SEM, siehe Tabelle 2). Die RTSD war größer in fehlerhaften Durchgängen (151 ± 5 ms) im Vergleich zu korrekten Durchgängen (139 ± 4 ms). Die Reaktionszeit variierte

geringer bei entdeckten Durchgängen (138 ± 3 ms) im Vergleich zu unentdeckten Durchgängen (153 ± 4 ms).

Auch die Interaktion Antworttyp x Entdeckung wurde signifikant [$F(1, 36) = 20.28, p < .001, \eta^2 = .360$]. Post-Hoc-Vergleiche ergaben dabei eine signifikant größere RTSD für entdeckte fehlerhafte Durchgänge (152 ± 6 ms) im Vergleich zu entdeckten richtigen Durchgängen (123 ± 3 ms, $p < .001$). Für unentdeckte Durchgänge gab es keinen signifikanten Unterschied ($p = .35$).

Im Vergleich der korrekten Durchgänge zeigten Falscher Alarm-Durchgänge (156 ± 6 ms) eine größere RTSD als entdeckte korrekte Durchgänge (123 ± 3 ms, $p < .001$). Zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern gab es keinen signifikanten Unterschied ($p = .59$).

Die Zweifachinteraktion zwischen Entdeckung und Achtsamkeit [$F(1, 36) = 3.20, p = .08, \eta^2 = .082$] und der Haupteffekt von Emotionaler Stabilität [$F(1, 436) = 2.88, p = .10, \eta^2 = .074$] konnten nicht die Signifikanz auf dem 5%-Level erreichen.

Tabelle 3: Antworttyp (korrekter Durchgang vs. Fehler) x Entdeckung (entdeckt vs. unentdeckt) ALM mit den Kovariaten Emotionale Stabilität (ES) und Achtsamkeit (FFA) für die abhängigen Variablen Reaktionszeit (RT), Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Fehlernegativität (Ne/ERN) und Fehlerpositivität (Pe), $N = 40$.

	RT			RTSD			Ne/ERN			Pe		
	<i>F</i> (1,36)	<i>p</i>	η^2									
Antworttyp	39.85	.001	.525	7.28	.011	.168	8.51	.006	.191	0.18	.672	.005
Entdeckung	47.63	.001	.570	6.21	.017	.147	1.78	.190	.047	0.26	.610	.007
Antworttyp x Entdeckung	2.10	.156	.055	20.28	.001	.360	6.14	.018	.146	4.91	.033	.120
Achtsamkeit (FFA)	0.01	.947	.000	0.65	.425	.018	0.14	.707	.004	0.58	.453	.016
Emotionale Stabilität (ES)	0.81	.374	.022	2.88	.099	.074	0.26	.611	.007	4.67	.037	.115
FFA x Antworttyp	0.12	.727	.003	1.32	.258	.035	0.40	.531	.011	0.23	.638	.006
FFA x Entdeckung	0.54	.466	.015	3.20	.082	.082	2.26	.142	.059	1.12	.298	.030
FFA x Antworttyp x Entdeckung	0.11	.743	.003	0.22	.641	.006	6.09	.018	.145	1.51	.227	.040
ES x Antworttyp	0.56	.461	.015	0.12	.736	.003	2.09	.157	.055	0.08	.777	.002
ES x Entdeckung	0.08	.777	.002	0.02	.889	.001	0.58	.453	.016	0.07	.794	.002
ES x Antworttyp x Entdeckung	0.00	.960	.000	0.79	.380	.021	4.44	.042	.110	0.66	.422	.018
FFA x ES	0.67	.419	.018	0.14	.709	.004	2.62	.114	.068	0.15	.697	.004
FFA x ES x Antworttyp	0.36	.552	.010	3.34	.076	.085	2.05	.161	.054	1.02	.319	.028
FFA x ES x Entdeckung	0.109	.743	.003	2.02	.164	.053	2.16	.150	.057	0.19	.663	.005
FFA x ES x Antworttyp x Entdeckung	0.64	.429	.017	2.01	.165	.053	1.89	.177	.050	0.01	.925	.000

Richtigkeit der Antworten und Entdeckungsgenauigkeit. In Tabelle 2 werden die Häufigkeiten für die jeweiligen Antworttypen präsentiert. Um die Fehlerentdeckungsleistung basierend auf der Signalentdeckungstheorie zu untersuchen, wurden Regressionsanalysen jeweils zur Vorhersage von Entscheidungskriterium c , Sensitivität d' und Falscher Alarm-Rate anhand Emotionaler Stabilität, Achtsamkeit und deren Interaktion berechnet (siehe Tabelle 4). Keine der Prädiktoren konnte die Parameter signifikant vorhersagen (für alle beta-Gewichte $p > .1$).

Tabelle 4: Beta-Gewichte und ihre p -Werte der Regressionsanalysen von Achtsamkeit (FFA) und Emotionaler Stabilität und ihrer Interaktion als Prädiktoren des Entscheidungskriteriums c , Sensitivität d' und der Falschen Alarm Rate ($N = 40$).

	Achtsamkeit (FFA)		Emotionale Stabilität		Interaktion	
	β	p	β	p	β	p
Entscheidungskriterium c	.229	.229	-.101	.592	.031	.853
Sensitivität d'	-.038	.840	.128	.503	.110	.516
Falsche Alarm Rate	-.109	.568	-.040	.832	-.107	.530

5.3.3 Ereigniskorrelierte Potentiale

Die mittleren Peak-Amplituden der ERPs werden in Tabelle 2 präsentiert und die reaktionsbezogen gemittelten ERP-Verläufe an der FCz werden in Abbildung 12 a) und die an der Cz in 15 b) dargestellt.

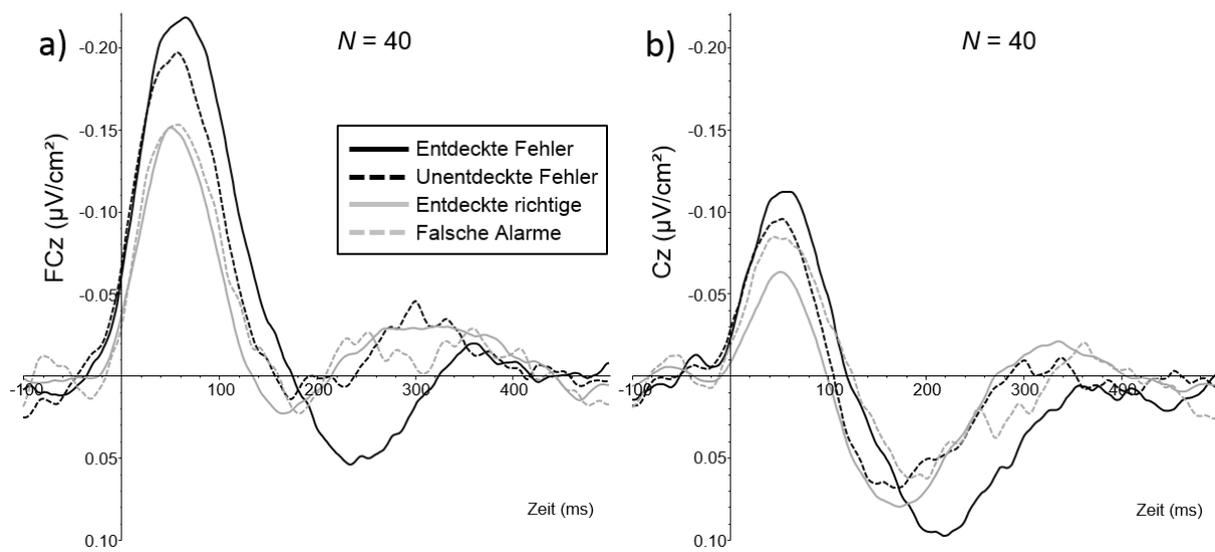


Abbildung 12: Current Source Density-Verläufe des reaktionsbezogen gemittelten Ereigniskorrelierten Potentials an der a) FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) und b) Cz für entdeckte und unentdeckte Fehler, korrekte Durchgänge und Falsche Alarme. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen.

Ne/ERN. Ein ALM mit den Peak-Amplituden der Ne/ERN bzw. CRN für richtige Antworten als abhängige Variable mit Achtsamkeit (FFA) und Emotionale Stabilität als kontinuierliche Kovariaten wurde berechnet (siehe Tabelle 3). Der Effekt für Entdeckung wurde nicht signifikant [$F(1, 36) = 1.78, p = .19$]. Der Effekt für Antworttyp wurde signifikant [$F(1, 36) = 8.51, p < .01, \eta^2 = .191$] und ergab negativere Amplituden für fehlerhafte Durchgänge ($-0.249 \pm 0.019 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) im Vergleich zu korrekten Durchgängen ($-0.198 \pm 0.015 \mu\text{V}/\text{cm}^2$). Außerdem wurde der Interaktionseffekt der beiden Faktoren Antworttyp und Entdeckung signifikant [$F(1, 36) = 6.14, p < .05, \eta^2 = .146$]. Post-Hoc-Vergleiche ergaben eine negativere Ne/ERN-Amplitude ($-0.262 \pm 0.021 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) im Vergleich zur CRN-Amplitude ($-0.177 \pm 0.017 \mu\text{V}/\text{cm}^2, p < .001$) für entdeckte Durchgänge. Für unentdeckte Durchgänge gab es keinen signifikanten Unterschied ($p = .39$). Bezüglich korrekter Durchgänge resultierten Falscher Alarm-Durchgänge ($-0.220 \pm 0.018 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) in eine negativere CRN-Amplitude als entdeckte Durchgänge ($-0.177 \pm 0.017 \mu\text{V}/\text{cm}^2, p < .05$). Die Amplituden der fehlerhaften Durchgänge unterschieden sich nicht signifikant bezüglich entdeckten und unentdeckten Durchgängen ($p = .06$).

Achtsamkeit und Emotionale Stabilität zeigten keine signifikanten Haupteffekte auf die Ne/ERN-Peak-Amplituden (alle $p > .1$). Signifikant wurden jedoch die beiden Dreifach-Interaktionen Achtsamkeit mit Antworttyp und Entdeckung [$F(1, 36) = 6.09, p < .05, \eta^2 = .145$] und Emotionale Stabilität mit Antworttyp und Entdeckung [$F(1, 36) = 4.44, p < .05, \eta^2 = .110$].

Im Anschluss wurden Post-Hoc-Tests Regressionsanalysen gerechnet. Dazu dienten Achtsamkeit, Emotionale Stabilität und deren Produkt, also die Interaktion von Achtsamkeit und Emotionale Stabilität, als Prädiktoren für die Interaktion von Antworttyp und Entdeckung. Um die Interaktion von Antworttyp und Entdeckung aufzuklären, wurden Differenzen der Ne/ERN-Peak-Amplituden (richtige: entdeckt minus unentdeckt; falsche: entdeckt minus unentdeckt) berechnet, die dann als jeweils abhängige Variablen in zwei Regressionsanalysen von den kontinuierlichen Variablen vorhergesagt werden sollten. Zur Vorhersage der Differenz der Amplituden von entdeckten richtigen Durchgängen und Falscher-Alarm-Durchgängen wurde weder das Beta-Gewicht von Achtsamkeit signifikant ($\beta = .111, p = .561$) noch das von Emotionaler Stabilität ($\beta = -.160, p = .405$). Die Vorhersage der Differenz von entdeckten und unentdeckten Fehlern ergab jedoch sowohl für Achtsamkeit ein signifikantes, negatives Beta-Gewicht ($\beta = -.505, p < .01$) als auch für Emotionale Stabilität ein signifikantes, positives Beta-Gewicht ($\beta = .365, p < .05$). Zusammengefasst ergab sich also ein positiver Zusammenhang zwischen Achtsamkeit und der Größe der Differenz der ERP-Peak-Amplituden von entdeckten und unentdeckten Fehlern: je achtsamer, desto größer war der Unterschied. Zur Darstellung wurden nach Median-Split der Achtsamkeitswerte (hohe Achtsamkeit > 2.79 ; niedrige Achtsamkeit ≤ 2.79) zwei Differenzkurven gebildet (siehe Abbildung 13 (A)). Außerdem ergab sich ein negativer Zusammenhang zwischen Emotionaler Stabilität und der Größe der Differenz der Ne/ERN-Peak-Amplituden von entdeckten und unentdeckten Fehlern: je weniger emotional stabil, desto größer war der Unterschied. Auch hier wurden zur Darstellung nach Median-Split der Werte der Emotionalen Stabilität (hohe Emotionale Stabilität ≥ 5.50 ; niedrige Emotionale Stabilität < 5.50) zwei Differenzkurven gebildet (siehe Abbildung 13 (B)).

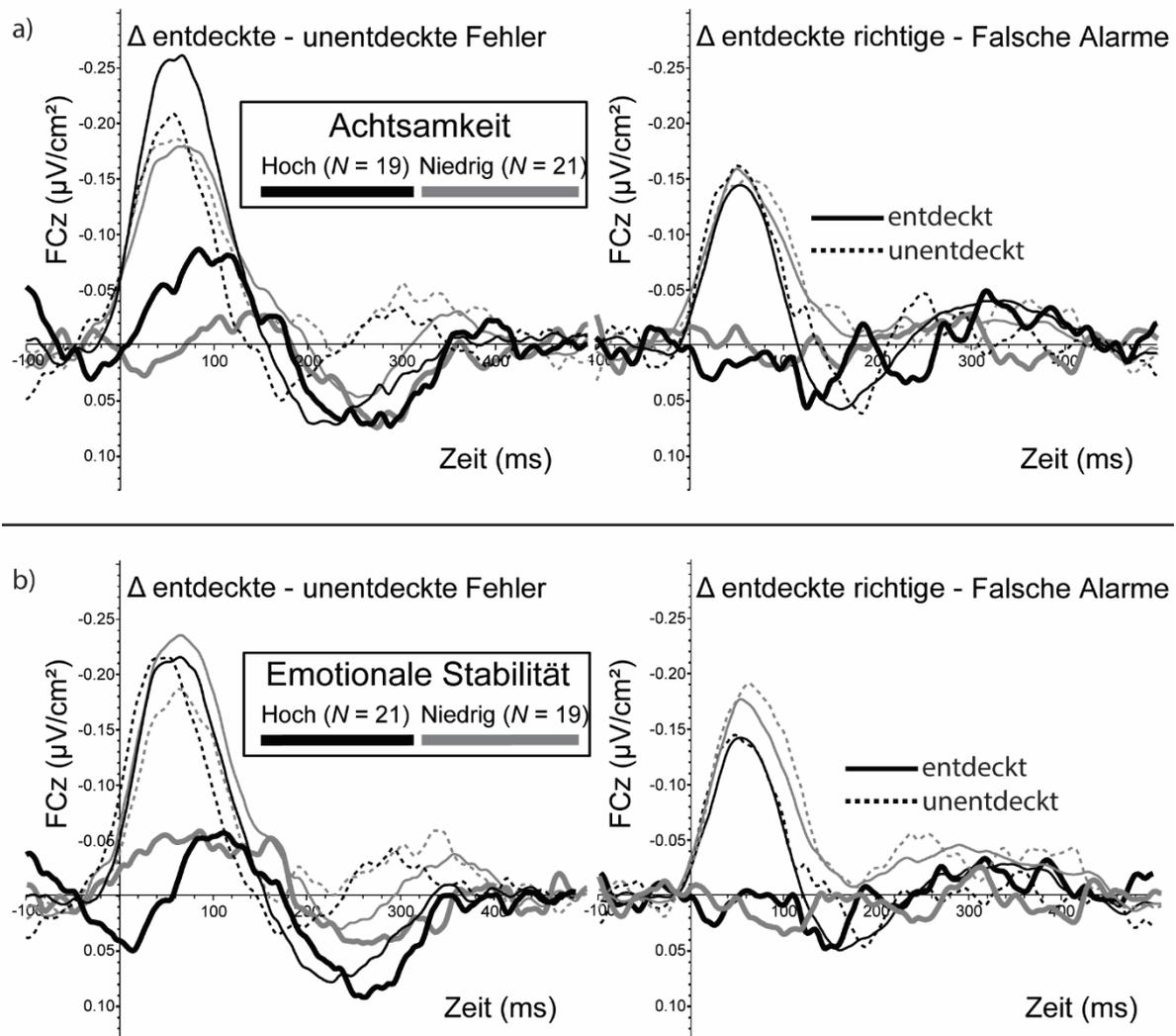


Abbildung 13: Mittlere Ne/ERN- und CRN-Amplitudendifferenzen (fettgedruckt) an der FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) für entdeckte minus unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge minus Falsche Alarme nach einem a) Mediansplit (bei 2.79) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 19$) und niedrigen ($n = 21$) Werten der Achtsamkeit und nach einem b) Mediansplit (bei 5.50) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 21$) und niedrigen ($n = 19$) Werten der Emotionalen Stabilität. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen.

Es gab keine weiteren signifikanten Zweifach- oder Vierfach-Interaktionen zwischen den kontinuierlichen Variablen und den Faktoren (alle $p > .1$).

Pe. Ein ALM mit den Peak-Amplituden der Pe als abhängige Variable mit Achtsamkeit (FFA) und Emotionale Stabilität als kontinuierliche Kovariaten wurde berechnet (siehe Tabelle 3). Der Effekt für Antworttyp wurde nicht signifikant [$F(1, 36) = 0.18, p = .672$] und auch der Effekt für Entdeckung nicht [$F(1, 36) = 0.26, p = .610$]. Stattdessen wurde der Interaktionseffekt der beiden Faktoren Antworttyp und Entdeckung signifikant [$F(1, 36) = 4.91, p < .05, \eta^2 =$

.120]. Post-Hoc-Vergleiche ergaben für entdeckte Durchgänge eine positivere Pe-Amplitude bei falschen Durchgängen ($0.141 \pm 0.016 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) im Vergleich zu korrekten Durchgängen ($0.108 \pm 0.143 \mu\text{V}/\text{cm}^2$, $p < .01$). Für unentdeckte Durchgänge gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen korrekt und falsch ($p = .145$). Bezüglich korrekter Durchgänge resultierten Falscher Alarm-Durchgänge ($0.145 \pm 0.020 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) nicht signifikant in eine positivere Pe-Amplitude als entdeckte Durchgänge ($0.108 \pm 0.143 \mu\text{V}/\text{cm}^2$, $p = .056$). Die Amplituden der fehlerhaften Durchgänge unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich entdeckten und unentdeckten Durchgängen (entdeckt: $0.141 \pm 0.016 \mu\text{V}/\text{cm}^2$; unentdeckt: $0.112 \pm 0.014 \mu\text{V}/\text{cm}^2$, $p = .051$).

Emotionale Stabilität hatte einen signifikanten Haupteffekt auf die Pe [$F(1, 36) = 4.67$, $p < .05$, $\eta^2 = .115$]. Als Post-Hoc-Test wurden die Beta-Gewichte der Emotionalen Stabilität zur Vorhersage der verschiedenen Pe-Peak-Amplituden betrachtet. Für erkannte Fehler und Falsche Alarmer wurden die Beta-Gewichte der Emotionalen Stabilität nicht signifikant ($\beta = 1.919$, $p = .193$ bzw. $\beta = 1.971$, $p = .273$). Zur Vorhersage der Pe-Peak-Amplitude bei entdeckten richtigen Durchgängen kann Emotionale Stabilität einen signifikanten Beitrag liefern ($\beta = 3.181$, $p < .05$, $\eta^2 = .153$), ebenso bei der Vorhersage von unentdeckten falschen Durchgängen ($\beta = 2.662$, $p < .05$, $\eta^2 = .114$). Dabei ist der Zusammenhang jeweils positiv: je größer der Wert der emotionalen Stabilität war, desto größer war die Peak-Amplitude (siehe Abbildung 14).

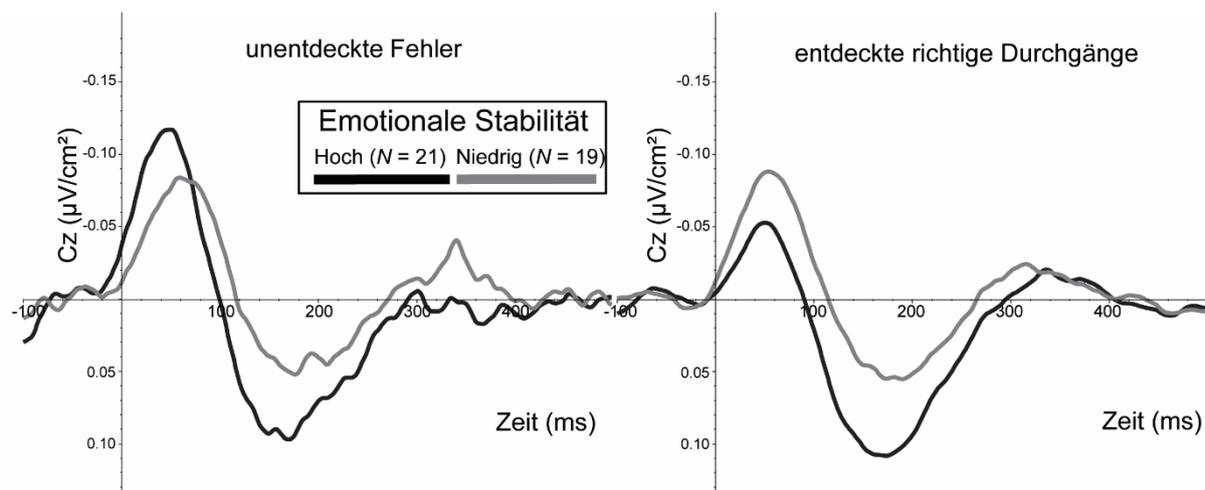


Abbildung 14: Mittlere Pe-Amplituden an der Cz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) für unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge nach einem Mediansplit (bei 5.50) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 21$) und

niedrigen ($n = 19$) Werten der Emotionalen Stabilität. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen.

Achtsamkeit zeigte keinen signifikanten Haupteffekt oder Interaktionseffekte auf die Pe-Amplituden (alle $p > .1$) und es gab keine weiteren signifikanten Zweifach- oder Vierfach-Interaktionen zwischen Emotionaler Stabilität und den Faktoren (alle $p > .1$).

Berechnungen mit Verwendung der Trait Achtsamkeit gemessen mit MAAS. Anstelle des FFA wurden die obengenannten Auswertungen auch mit dem MAAS als Achtsamkeitswert ausgeführt, es wurden also Berechnungen der ALMs für Verhaltensleistungen und ERPs mit MAAS und Emotionale Stabilität als Kovariaten durchgeführt. Alle Effekte bezüglich des MAAS oder der Interaktion von MAAS und Emotionale Stabilität wurden nicht signifikant (alle $p > .1$, siehe Anhang: Tabelle 1 und Anhang: Tabelle 2).

5.4 Diskussion

Studie 1 dieser Arbeit hatte zum Ziel Fehlerverarbeitung in Bezug auf Achtsamkeit als Trait zu untersuchen. Dazu wurde zusätzlich der Zusammenhang mit Emotionaler Stabilität als Persönlichkeitseigenschaft betrachtet. Wie erwartet wurde, gab es einen positiven Zusammenhang zwischen Achtsamkeit und Emotionaler Stabilität (siehe auch Giluk, 2009). Es wurden der Zusammenhang zwischen Trait Achtsamkeit und Performanz (Verarbeitungsgeschwindigkeit und Fehlerentdeckungsfähigkeit) und zwischen Trait Achtsamkeit und elektrophysiologischen Prozessen der Fehlerverarbeitung (Ne/ERN und Pe) während einer modifizierten Simon-Aufgabe kombiniert mit einer Fehlerentdeckungsaufgabe untersucht und dabei auch der Zusammenhang zu Emotionaler Stabilität untersucht und kontrolliert. Die Aufgabe ermöglichte es, unterschiedliche Antwortarten (entdeckte und unentdeckte Fehler, entdeckte richtige Durchgänge und Falsche Alarm-Durchgänge) separat zu betrachten.

Verarbeitungsgeschwindigkeit. Reaktionszeit und RTSD repräsentieren die Stabilität der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (Robinson & Tamir, 2005). Eine geringe Variabilität wurde als Maß der Effizienz aufgefasst, mit der Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden konnte (Stuss, Murphy, Binns, & Alexander, 2003). Demnach resultieren Ausfälle der Aufmerksamkeit in eine höhere RTSD. Die vorliegenden Verhaltensdaten zeigten, dass ProbandInnen schneller und in ihrer Reaktionszeit variabler bei fehlerhaften im Vergleich zu richtigen Durchgängen waren. Es wurden also Fehler gemacht,

wenn die Informationsverarbeitung schnell verlief und wenn vermehrt Ausfälle der Aufmerksamkeit auftraten. Achtsamkeit und Reaktionszeit hingen nicht miteinander zusammen, RTSD korrelierte jedoch negativ mit Trait Achtsamkeit (gemessen mit FFA) und auch mit emotionaler Stabilität.

Fehlerentdeckungsfähigkeit. Die Verwendung des Fehlerentdeckungsparadigmas ermöglichte zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern, sowie entdeckten korrekten und Falscher Alarm-Durchgängen zu differenzieren, so dass Parameter der Signalentdeckungstheorie als Indizes der Unsicherheit oder Sicherheit bei der Entscheidungsfindung verwendet werden konnten (Tanner & Swets, 1954; Green & Swets, 1966). Obwohl hohe Sensitivität d' , also hier die Fähigkeit zwischen korrekten und falschen Antworten zu entscheiden, und eine geringe Falscher Alarm-Rate Indikatoren für eine gute Fehlerentdeckungsfähigkeit sind und deshalb die Hypothese aufgestellt werden konnte, dass sie mit emotionaler Stabilität und Achtsamkeit zusammenhängen, konnte dieser Zusammenhang hier nicht gefunden werden. Dies ist vergleich mit den Ergebnissen von Wittmann und KollegInnen (2014) bezüglich Achtsamkeit.

Neuronale Aktivität der Fehlerverarbeitung. Die vorliegende Studie zeigte generell keinen Unterschied zwischen den Amplituden der Ne/ERN von entdeckten und unentdeckten Fehlern. Die beiden Komponenten nach Fehlern waren signifikant höher im Vergleich zu den Komponenten der korrekten Durchgänge, was auch frühere Studien so zeigen konnten (Endrass et al., 2005; Nieuwenhuis et al., 2001; O'Connell et al., 2007). Vorherige Studien untersuchten üblicherweise nicht Komponenten der Falschen Alarme, womöglich weil ProbandInnen nicht genügend Durchgänge dieser Art produzierten. Mit Hilfe des hier verwendeten Paradigmas konnten jedoch ausreichend Falsche Alarm-Durchgänge ausgelöst werden. Interessanterweise ergab der Vergleich zwischen den Ne/ERN-Amplituden der nichtentdeckten Fehler und der Falschen Alarme keinen signifikanten Unterschied und die Amplituden der Falschen Alarme waren signifikant höher als die Amplituden der entdeckten richtigen Durchgänge. Demnach wurde fehlerhafte Fehlerentdeckung also schon in früher Fehlerverarbeitung sichtbar. Dies passt auch zu den Ergebnissen von Coles und KollegInnen (2001), wo Ne/ERN-ähnliche Amplituden für richtige Durchgänge gefunden wurden, insbesondere bei solchen Durchgängen, bei denen aufgrund von fehlender Information über die Repräsentation der Antwort im Vergleichsprozess (postuliert von der Mismatch-Theorie von Falkenstein et al., 1991) Unsicherheit herrschte.

Die Unterscheidung zwischen entdeckten Fehlern und unentdeckten Fehlern im späteren Prozess der Fehlerverarbeitung, der durch die Komponente der Pe reflektiert wird, konnte zwar tendenziell sichtbar werden, wurde jedoch nicht auf dem 5%-Signifikanzniveau signifikant. Falsche Alarme und unentdeckte Fehler provozierten jedoch gleichhohe Pe-Amplituden. Wenn also der subjektive Eindruck, dass ein Fehler gemacht wurde, obwohl man richtig reagierte, eintritt, kam es zuvor zu einer ähnlichen Verarbeitung, als wenn man objektiv einen Fehler gemacht hat, den man jedoch nicht entdeckt hat. Diese Unsicherheit der Entscheidung, die sich durch eine Fehlentscheidung äußert, passt auch zu den Ergebnissen von Hewig und KollegInnen (2011), die die Pe auch bei Unsicherheit über die Aufgabenbewältigung fanden. Auch zu der Theorie von Steinhäuser und Yeung (2010), dass die Pe als interne Entscheidungsvariable fungiert, die zur Evidenzakkumulation beisteuert, auf die dann die Fehlerentdeckung basiert, passen die vorliegenden Befunde zumindest tendenziell.

Obwohl kein genereller Unterschied zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern in den Ne/ERN-Amplituden gefunden werden konnte, gab es einen Unterschied für hoch achtsame ProbandInnen unter Kontrolle von emotionaler Stabilität und einen Unterschied für gering emotional stabile ProbandInnen unter Kontrolle von Achtsamkeit. Wenn also beide Persönlichkeitseigenschaften als Kovariaten aufgenommen wurden, konnte die Varianz des jeweils entgegengesetzten Effekts dieser Eigenschaften auf die Ne/ERN-Amplituden kontrolliert werden und der Effekt der anderen Eigenschaft wurde sichtbar.

Angststörungen und Depression hängen nur negativ mit dem Achtsamkeitsfaktor emotionaler Akzeptanz, nicht jedoch mit Gewahrsein zusammen (Kohls, Sauer & Walach, 2009). Wird also der Aspekt der emotionalen Akzeptanz durch Aufnehmen des Faktors Emotionale Stabilität kontrolliert, könnte der dann sichtbare Effekt der Achtsamkeit auf Fehlerverarbeitung aufgrund einer systematischen Varianz des Gewahrsein-Faktors (also aufmerksamer und bewusster bei einer Aufgabe sein) zustande gekommen sein. Demnach könnte also hohes achtsames Gewahrsein mit einer stärker differenzierten frühen Fehlerverarbeitung zusammenhängen. MAAS misst nur achtsames Gewahrsein, nicht emotionale Akzeptanz, weshalb dieser Fragebogen ideal sein müsste, um diese Hypothese zu testen. Interessanterweise konnte jedoch kein signifikanter Effekt gefunden werden, wenn MAAS anstelle des FFA für dieselben Auswertungen verwendet wurde. Dieser Nullbefund könnte auch an einer geringeren Streubreite der Werte des MAAS in dieser Stichprobe und damit einer geringeren Varianz im Vergleich zu den Werten des FFA liegen. Außerdem ist der MAAS so konstruiert, dass er lediglich die Unaufmerksamkeiten des Alltags erfragt, weshalb

es fraglich ist, ob er durch seine ausschließlich negative Polung und den Kontext der Alltagserlebnisse tatsächlich achtsames Gewahrsein exhaustiv erfasst (Grossman, 2011). Der FFA repräsentiert womöglich diesen Aspekt der Achtsamkeit umfassender.

Weiterhin ergab in dieser Studie auch eine niedrige emotionale Stabilität eine frühe Differenzierung von entdeckten und unentdeckten Fehlern. Für ProbandInnen mit niedriger emotionaler Stabilität sind Fehler möglicherweise relevanter, da diese ProbandInnen Fehler als aversiver und belastender wahrnehmen und sie eventuell Schwierigkeiten haben Fehler emotional zu akzeptieren. Dies könnte eine Erklärung sein, warum ProbandInnen mit niedriger emotionaler Stabilität sich im Verlauf einer Aufgabe von dieser loslösen, da sie sich immer mehr von den Fehlern gestört fühlen, während ProbandInnen mit hoher emotionaler Stabilität ihre Fehler akzeptieren und die Aufgabe weiter bearbeiten (Luu et al., 2000).

Da in dieser Studie der Verlauf der Bearbeitung der Reaktionsaufgabe nicht beachtet wurde (also zum Beispiel ein Vergleich der Bearbeitung am Anfang und am Ende der 40-minütigen Aufgabe), sondern (auf Grund der geringeren Anzahl an Durchgängen) alle Fehler während der Aufgabe zusammen gemittelt wurden, könnte es der Fall sein, dass solche fehlerhaften Durchgänge, die als falsch entdeckt wurden, genau solche sind, bei denen die ProbandInnen stärker in der Aufgabe eingebunden waren (also zum Beispiel noch am Anfang der Aufgabe). Diese Interpretation würde sehr gut zu den Ergebnissen von Luu und KollegInnen (2000) und deren Interpretation der aufmerksamen Einbindung passen.

Interessanterweise zeigten emotional stabilere Probanden höhere Amplituden in dem späteren Fehlerverarbeitungsprozess, besonders bei entdeckten korrekten und nichtentdeckten fehlerhaften Durchgängen. Gerade diese beiden Antworttypen führten eben nicht zu einer Einschätzung, dass man zuvor einen Fehler gemacht hatte, sind also für die Evidenzakkumulation zur Fehlerentdeckung nicht relevant, weshalb dieser Befund schwierig zu interpretieren ist. Nichtsdestotrotz passen die Befunde zu den Ergebnissen von Hajcak und KollegInnen (2004), die ebenfalls generell geringere Amplituden für ProbandInnen mit hohem negativem Affekt fanden und dies als geringeres Gewahrsein von Fehlern und eine reduzierte Verarbeitung korrekter Antworten interpretierten.

Zusätzlich zu aufgabenspezifischen Erklärungen (siehe Übersicht von Wessel, 2012), könnte also eine mögliche Erklärung dafür, dass manche Studien einen Unterschied in der Ne/ERN-Amplitude fanden und manche anderen nicht, die Verwendung von unausgewogenen Stichproben von mehr oder weniger gewahren ProbandInnen – je nach verschiedenen Persönlichkeitseigenschaften – sein. Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, dass es

wichtig für Studien der Fehlerverarbeitung ist, zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern bei der Analyse von Ne/ERN- und Pe-Amplituden zu unterscheiden und Gewährsein der ProbandInnen zu kontrollieren.

5.5 Einschränkungen und Übergang zur Studie 2

Die Ergebnisse der Studie 1 bieten erste Einblicke in den Zusammenhang von Achtsamkeit als Trait, Fehlerentdeckung und den zusätzlichen Effekt von emotionaler Stabilität. Das Fehlerentdeckungsparadigma ermöglichte auch neben der Differenzierung von entdeckten und unentdeckten Fehlern eine ausreichende Anzahl von Falschen Alarmen hervorzurufen. Dies ermöglichte die Untersuchung des interessanten Falls von fälschlicher Fehlerentdeckung und damit die differenziertere Untersuchung der Effekte von Achtsamkeit auf Fehlerentdeckung. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten, dass Achtsamkeit als Trait und emotionale Stabilität unterschiedlich auf die neurophysiologischen Parameter der frühen Fehlerverarbeitung wirken. Da diese Studie jedoch eine Korrelationsstudie ist, ist es notwendig in einer Folgestudie ein Achtsamkeitstraining zu verwenden, um den Effekt von Achtsamkeit experimentell in einer Vorher-Nachher-Studie mit randomisierter Trainings- und Kontrollgruppe untersuchen zu können. Dabei kann untersucht werden, ob die Ne/ERN-Amplitude über die Zeit verändert werden kann und wie diese eventuellen Veränderungen mit Verbesserungen auf der Verhaltensebene zusammenhängen. Auch der Befund von Larson und KollegInnen (2013) bezüglich einer geringeren Pe-Amplitude nach einer Achtsamkeitsintervention kann überprüft werden.

Leider war die Anzahl der ProbandInnen ($N = 40$) zu gering um eine ausreichend große Teststärke für das Aufdecken möglicher kleiner Zusammenhänge, besonders bei komplexen Interaktionen, zu haben.

Außerdem ist erneut zu erwähnen, dass die Verwendung von Selbstberichten bei der Messung von Achtsamkeit problematisch ist (siehe 3.1.3). Grossman (2008) bot dazu mehrere Kritikpunkte an, die sich auch auf FFA und MAAS beziehen. Zum einen ist die Definition von Achtsamkeit nicht einheitlich (siehe 3.1) und zwischen den ExpertInnen festgelegt. Weiterhin gibt es wohl immer eine Diskrepanz zwischen selbst-berichteter Achtsamkeit und dem tatsächlichen Ausmaß von Achtsamkeit. Nichtsdestotrotz konnten in der Studie 1 Zusammenhänge zwischen Achtsamkeit und Ne/ERN-Amplituden gefunden werden, was impliziert, dass der FFA Varianz bezüglich Fehlerverarbeitung erklären kann. In zukünftigen Studien wäre es interessant einen Selbstbericht zu verwenden, der stärker an der gängigen

Definition von Bishop und KollegInnen (2004) orientiert ist und die beiden Faktoren emotionale Akzeptanz und Gewährsein separat erfasst. Der PHLMS (Cardaciotto et al., 2008) trennt zwischen diesen beiden Faktoren und war bisher nur in englischer Sprache erhältlich.

6. Studie 2: Achtsamkeitstraining und Fehlerverarbeitung

6.1 Forschungsfragen

Ziel von Studie 2 ist die Untersuchung der Fehlerverarbeitung und Performanzüberwachung von ProbandInnen vor und nach einem Achtsamkeitsmeditationstraining, um zu überprüfen, inwiefern das Training spezifische Prozesse beeinflusst und inwiefern diese Veränderungen auf neurophysiologischer Ebene, also in den Amplituden der Ne/ERN und Pe, reflektiert werden.

Dabei wird bei der Erforschung der Achtsamkeitseffekte auf Fehlerverarbeitung darauf abgezielt, möglichst viele Probleme und Einschränkungen vorheriger Studien zu vermeiden (siehe auch 4.4). Zunächst sollen mithilfe eines Trainings von Laien die konfundierenden Effekte einer Querschnittsuntersuchung von Langzeitmeditierenden im Vergleich zu Laien vermieden werden. Zweitens sollte der generelle Effekt von Entspannung (Schwartz, Davidson, & Goleman, 1978) mit Hilfe einer aktiven Kontrollgruppe, die Progressive Muskelrelaxation (PMR) üben, kontrolliert werden. PMR ist ein Entspannungstraining, das zur Reduktion von physiologischer Erregung durch das Wechseln von An- und Entspannung verschiedener Muskelgruppen führt (Lehrer, 1982). Oft haben die Experimental- und Kontrollgruppe unterschiedliche Lehrer (z.B. ein Meditationslehrer vs. Anleiter der PMR, wie in Tang et al., 2007). Dieser mögliche Lehrereffekt soll hier mit Hilfe einer Instruktion über eine Smartphone-Applikation, die zudem leicht in einen vollen Alltag der ProbandIn integriert werden kann, vermieden werden.

Die Zuordnung zu den beiden Trainingsgruppen erfolgte randomisiert. Eine Erfassung der Trait Achtsamkeit vor dem Training ermöglichte das Aufdecken möglicher Baseline-Unterschiede und eine Messung nach dem Training erlaubte einen Manipulation Check in dem Sinne, ob die ProbandInnen nur in der Achtsamkeitsmeditationsgruppe ihre Achtsamkeit steigerten. Durch die Verwendung eines Achtsamkeitsfragebogens, der zwischen den beiden Faktoren Gewährsein und emotionale Akzeptanz differenzieren kann, können bessere Rückschlüsse auf zugrundeliegende Mechanismen gezogen werden. Sowohl das momentane Gewährsein und die emotionale Akzeptanz können separat als Trait-Faktoren im zweifaktoriellen PHLMS (Cardaciotto et al., 2008) gemessen werden.

Da die Ne/ERN von verbesserter Aufmerksamkeit und erhöhtem motivationalem Engagement abhängt (Luu et al., 2000), kann die Hypothese aufgestellt werden, dass Meditation zu einer höheren Amplitude der Ne/ERN führt, die perzeptbasierte Fehlerverarbeitung also mehr Aufmerksamkeit erhält.

Nach den Studien von Luu und KollegInnen (2000) und Teper und Inzlicht (2012) kann vorhergesagt werden, dass nur ProbandInnen der Achtsamkeitsmeditationsgruppe einen Anstieg des Gewahrseins zeigen. Dieser wird sichtbar durch einen Anstieg oder Abfall der Pe, je nachdem, ob Pe eher die Stärke der Evidenzakkumulation (Vgl. Steinhauser & Yeung, 2010) reflektiert (sichtbar durch einen Abfall der Pe) oder direkt das Gewahrsein des Fehlers reflektiert (Anstieg der Pe). Außerdem kann das Training der Achtsamkeit auch zu einem Anstieg emotionaler Akzeptanz führen, also einer Reduktion der Reaktivität auf emotional negativ bewertete Fehler sichtbar durch einen Abfall der Pe. Die Effekte können sich also gegenseitig aufheben, wenn man sich lediglich die resultierende Pe anschaut. Deshalb ist Ziel der Studie die Veränderungswerte der unterschiedlichen Komponenten der Achtsamkeit mit der Veränderung der Pe zu korrelieren, um Schlüsse auf die zugrundeliegenden Mechanismen der Fehlerverarbeitung ziehen zu können.

Weiterhin ist Ziel dieser Studie auch unterschiedliche Verhaltensmaße der Performanzüberwachung zu untersuchen und mit früheren Studien zu vergleichen. So ist eine Veränderung der Reaktionszeit (Jha et al., 2007) und der RTSD (Lutz et al., 2009) zu erwarten. Außerdem könnten Veränderungen des post-error slowings und der post-error performance (eine Verbesserung der Genauigkeit des Antwortverhaltens nach einem Fehler, Übersicht von Danielmeier & Ullsperger, 2011), sowie eine Verbesserung der Fehlerentdeckungshäufigkeit zu einem besseren Verständnis der spezifischen Mechanismen der Achtsamkeitsmeditation führen.

Teper und Inzlicht (2012) zeigten, dass Meditierende im Vergleich zu Nicht-Meditierenden bei der Bearbeitung einer Stroop-Aufgabe höhere ERN-Amplituden vorwiesen, aber keine höheren Pe-Amplituden, sie hatten höhere Akzeptanz-Werte und gleich hohe Gewahrseins-Werte, gemessen mit PHLMS (Cardaciotto et al., 2008). Es sollte im Folgenden dieser Befund überprüft werden, ob emotionale Akzeptanz eher verantwortlich ist für die gesteigerte exekutive Kontrolle.

6.2 Methoden

Als Stichprobe wurden weibliche Probandinnen gewählt, die daran interessiert waren ihre Stressbelastung, die sie durch ihr Studium erfahren, durch ein Entspannungstraining zu verringern. Beide Treatment-Gruppen wurden als Entspannungsverfahren beworben, so dass keine Probandin das Gefühl bekommen konnte, in einer benachteiligten Gruppe zu sein. Das jeweils andere Training wurde erst im Anschluss an die Erhebung bekannt gemacht und es

wurde die Möglichkeit angeboten, das andere Training ebenfalls zu erhalten. Um einen möglichst großen Effekt zu erhalten, wurde statt einer einfachen Achtsamkeitsübung ein vierwöchiges Training angeboten. Um die Kosten gering zu halten und um das Training so standardisiert und in den Alltag integrierbar wie möglich zu gestalten, wurde keine Trainerin angestellt, sondern das Training fand über eine Smartphone-Applikation statt.

6.2.1 Stichprobe

Weibliche Studierende aus dem Bachelor-Studiengang Psychologie ohne jegliche Vorerfahrungen mit Entspannungsübungen wurden über die Mailingliste der Fachschaft rekrutiert. Sechzig Probandinnen begannen die Studie, drei (zwei aus der Meditationsgruppe, eine aus der PMR-Gruppe) fielen vor Abschluss des Trainings aus (95% Retentionsrate). Wegen technischer Probleme und Ausfällen des EEG-Systems konnten die Daten von acht Probandinnen nicht verwertet werden. Fünf Probandinnen machten zu wenige (< 6 Durchgänge) entdeckte Fehler, sieben Probandinnen zu wenige unentdeckte Fehler, damit die Menge an neurophysiologischen Daten noch reliabel genug war. Ausreißer-Analysen ergaben vier Extremwerte (mehr als das Dreifache des Interquartilsabstands), die aus der Auswertung ausgeschlossen werden mussten: es gab zwei Extremwerte für die RTSD korrekter Durchgänge in der ersten Sitzung, ein Extremwert, der sowohl in der Amplitude der Cz für unentdeckte Fehler der ersten Sitzung, als auch in den Amplituden der FCz für entdeckte richtige und unentdeckte fehlerhafte Durchgänge der zweiten Sitzung gefunden wurde, und ein Extremwert für die Amplitude der FCz für unentdeckte Fehler der ersten Sitzung.

Die verbliebenen 33 Probandinnen (Meditation: 16; PMR: 17) waren zwischen 18 und 39 Jahren alt ($M = 24.36$, $SD = 5.34$) und trainierten zwischen 338 und 1360 Minuten ($M = 818$, $SD = 268$), was einer mittleren Trainingszeit von 29 Minuten pro Tag entsprach. Sie unterschieden sich zwischen den Gruppen weder im Alter [$M_{\text{Meditation}} = 24.06$, $SD_{\text{Meditation}} = 4.99$; $M_{\text{PMR}} = 24.65$, $SD_{\text{PMR}} = 5.79$, $t(31) = -0.310$, $p = .759$] noch in der Gesamttrainingsdauer [$M_{\text{Meditation}} = 773$ min, $SD_{\text{Meditation}} = 243$ min; $M_{\text{PMR}} = 861$ min, $SD_{\text{PMR}} = 291$ min, $t(31) = -0.941$, $p = .354$].

Die Deutsche Gesellschaft für Psychologie bestätigte den Ethik-Antrag und ein schriftlicher Teilnahmevertrag wurde von jeder Probandin unterzeichnet.

6.2.2 Ablauf der Studie

Das Versuchsdesign beinhaltete zwei Sitzungen, eine vor und eine direkt nach einem vierwöchigen Training von entweder Meditation oder PMR. In der ersten Sitzung wurden demographische Daten erfragt und Baseline-Daten erhoben, die zweite Sitzung bestand aus einer Post-Training-Datenerhebung. Am Ende der ersten Sitzung erhielt jede Probandin entweder eine Audiodatei (PMR, Techniker Krankenkasse, 2013) oder eine Smartphone-Applikation (Meditation, MindApps, 2013) auf ihrem eigenen Smartphone (beide Trainingsinstruktionen waren Audiodateien, die der Meditation lediglich implementiert in einer Smartphone-Applikation). Neben den Audiodateien erhielten die Probandinnen eine mündliche und schriftliche Praxisanleitung, letzteres als „Übungsbuch zum Erlernen einer Entspannungstechnik“, was einen Protokollbogen für den täglichen Übungsverlauf beinhaltete (siehe Anhang A.2 Übungsbuch für Achtsamkeitsmeditation und PMR). Sie erhielten die Aufgabe, Datum, Uhrzeit und Länge des Trainings anzugeben. Die Probandinnen der Meditationsgruppe sollten zusätzlich kennzeichnen, wenn sie auf die stille Meditation wechselten (Details siehe 6.2.3). Zusätzlich erhielten die Probandinnen wöchentlich eine E-Mail (vier E-Mails, inklusive einer Erinnerungs-Mail am Tag vor der zweiten Sitzung), um zur täglichen Praxis zu ermutigen, Ratschläge anzubieten und nach aufkommenden Problemen während des Trainings zu erfragen. Falls auf diese E-Mails geantwortet wurde, wurden individuelle Rückmeldungen per E-Mail gegeben. Am Ende der zweiten Sitzung erhielten die Probandinnen die Audiodateien beziehungsweise die Smartphone-Applikation der anderen Gruppe und sie wurden über die Absicht der Studie aufgeklärt.

6.2.3 Achtsamkeitstraining versus Progressive Muskelrelaxation

Progressive Muskelrelaxation. Die Probandinnen der PMR-Gruppe erhielten zwei verschiedene Audiodateien, eine Lang- und eine Kurzversion des Trainings mit einer Länge von 32 beziehungsweise 17 Minuten (Techniker Krankenkasse, 2013). Sie wurden instruiert, das Training mindestens zweimal täglich zu Hause mit wenigstens der Kurzversion zu praktizieren und es wurde angeraten, die Trainingsmenge, wenn möglich, zu steigern. Die Kurzversion beginnt mit dem Finden einer entspannten Position, die Augen sollen geschlossen werden und es folgt eine kurze Periode des Atmens im eigenen Rhythmus. Danach beginnt die eigentliche Aufgabe mit der sanften Anspannung verschiedener Muskeln. Zunächst sollen die Muskeln der Arme angespannt werden, Fäuste gemacht werden und danach diese Muskeln wieder entspannt werden. Schrittweise folgen An- und Entspannung der Muskeln des Kopfes,

der Augenbrauen, des Halses und Kiefers, der Schultern, der Füße und Arme. Nach der Aufgabe soll der Entspannung nachgespürt werden, indem wieder auf den Atem konzentriert und die Tiefe des Atems gesteigert werden soll. Der letzte Teil der Kurzversion wird von ruhiger Musik begleitet und es sollen sich Bilder vorgestellt, der Musik gelauscht oder auf den Atem konzentriert werden. Das Training endet mit der Anweisung sich zu recken und strecken und die Augen wieder zu öffnen. Die Langversion ist der kurzen sehr ähnlich, jedoch sind die Muskelpartien, die an- und entspannt werden sollen, differenzierter aufgezählt: rechte Hand, rechter Oberarm, linke Hand, linker Oberarm, Augenbauen, Augen, Nase und Wangen, Lippen, Kiefer, rechte und linke Seite des Halses, Nacken, Schultern, Rücken, Bauchmuskeln, Gesäßmuskeln, rechter Oberschenkel, rechter Waden, rechter Fuß, linker Oberschenkel, linker Waden, linker Fuß.

Achtsamkeitsmeditation. Die Smartphone-Applikation besteht aus verschiedenen Audiodateien unterschiedlicher Längen (drei, fünf, fünfzehn und dreißig Minuten), mit angeleiteten und stillen Meditationen (MindApps, 2013). Die Probandinnen wurden gebeten, das Training mindestens zweimal täglich mit wenigstens der fünfzehn-minütigen angeleiteten Meditation zu beginnen und wenn möglich die Trainingsdauer zu steigern und irgendwann in die stille Meditation zu wechseln, wenn sie mit dem Inhalt der Anleitung vertraut waren. Eine stille Meditation sollte dabei eine größere Autonomie im Vergleich zu der vorherigen Abhängigkeit zu der formelhaften Übung ermöglichen und beinhaltet statt Anleitung lediglich einen Gongschlag am Anfang und Ende des jeweiligen Zeitraums. Die fünfzehn-minütige Version beginnt mit dem Fokus der Aufmerksamkeit nach innen und auf den aktuellen Moment gerichtet durch das Beobachten ohne das Verändern des Erlebens. Danach folgt die fokussierte Aufmerksamkeit auf den Atem mit Neugierde und Offenheit, nicht-beurteilend gegenüber aufkommende Gedanken. Der Atem dient dabei als Anker im Hier und Jetzt. Zwischendurch gibt es kurz einen Wechsel des Fokus auf Körperempfindungen oder Schmerzen mit einer freundlichen, offenen Einstellung. Die Trainingseinheit endet mit dem Fokus auf den Körper als Ganzes und darauf dem erneuten Fokus auf den Atem. Die dreißig-minütige Version beginnt mit einem Body-Scan, gefolgt von der fokussierten Aufmerksamkeit auf den Atem. Danach soll der Fokus auf Umgebungsgeräusche gerichtet werden und später auf Gedanken und Empfindungen, ohne sie zu beurteilen. Gedanken sollen beobachtet werden wie „Blätter auf einem Fluss während man auf einer Bank sitzt“. Die Trainingseinheit endet mit einer Periode der offenen Präsenz und schließt mit dem erneuten Fokus auf den Atem.

6.2.4 Datenerhebung

Vor der eigentlichen Hauptaufgabe wurde für fünf Minuten Ruhe-EEG aufgenommen, während dessen die Probandinnen ruhig vor dem Computer sitzen sollten. Dabei bekamen sie in der ersten Sitzung die Instruktion, so gut wie möglich zu entspannen, während sie in der zweiten Sitzung gebeten wurden, das Entspannungsverfahren, was sie in den letzten vier Wochen lernen sollten, anzuwenden. Danach fand die modifizierte Simon-Aufgabe (Simon, 1969) statt, die auch in der Studie 1 verwendet wurde (siehe 5.2.2). Sie umfasste hier statt zwölf in der Studie 1, elf Blöcke mit je 116 Durchgängen und dauerte etwa 50 Minuten. Statt zwei verschiedener Präsentationsdauern der Stimuli wie in der Studie 1 (67 ms und 84 ms), wurden diesmal die Zielreize nur 84 ms mit nachfolgender Maske mit weißem Rauschen von 216 ms präsentiert. Auch in dieser Studie erfolgte nach jedem Block eine Pause, die selbstgesteuert beendet werden konnte.

Verhaltensdaten. Es wurden wie in Studie 1 die Reaktionszeit und RTSD erhoben (siehe 5.2.2). Als weitere Maße und zum Bewerten des Verhaltens nach Fehlerausführung wurden zusätzlich das *post-error slowing*, was als Differenz der Reaktionszeit des Durchgangs nach einem fehlerhaften Durchgang und der Reaktionszeit des Durchgangs vor dem fehlerhaften Durchgang definiert wird, und die *post-error performance*, definiert als Anteil der korrekten Durchgänge nach fehlerhaften Durchgängen an fehlerhaften Durchgängen, berechnet. Außerdem konnten wieder die vier Antwortarten (entdeckte Fehler, unentdeckte Fehler, Falsche Alarmer und entdeckte richtige Durchgänge) differenziert betrachtet und mit Hilfe der Signalentdeckungstheorie und der Berechnung des Entscheidungskriteriums c und der Sensitivität d' interpretiert werden (siehe 5.2.2). Zuletzt wurde die Gesamtfehlerrate, definiert als Anteil der Summe von entdeckten und unentdeckten Fehlern an der Gesamtsumme aller Antworten, berechnet.

Elektrophysiologische Datenerhebung. Das EEG wurde genau wie in der Studie 1 (siehe 5.2.3) gemessen und aufgezeichnet. Auch die ERP-Daten wurden wie in der Studie 1 mit der CSD-Transformation (Perrin et al., 1989) generiert und die Werte der Ne/ERN- und Pe-Peak-Amplituden ausgewertet (siehe 5.2.3). Ebenfalls erfolgte die Bestimmung des Bereichs der beiden ERPs sowohl durch Beachtung vorheriger Studien (siehe Übersicht von Wessel, 2012), als auch durch visuelle Inspektion der Topografie der Komponenten (siehe Hirnkartierungen, Abbildung 15).

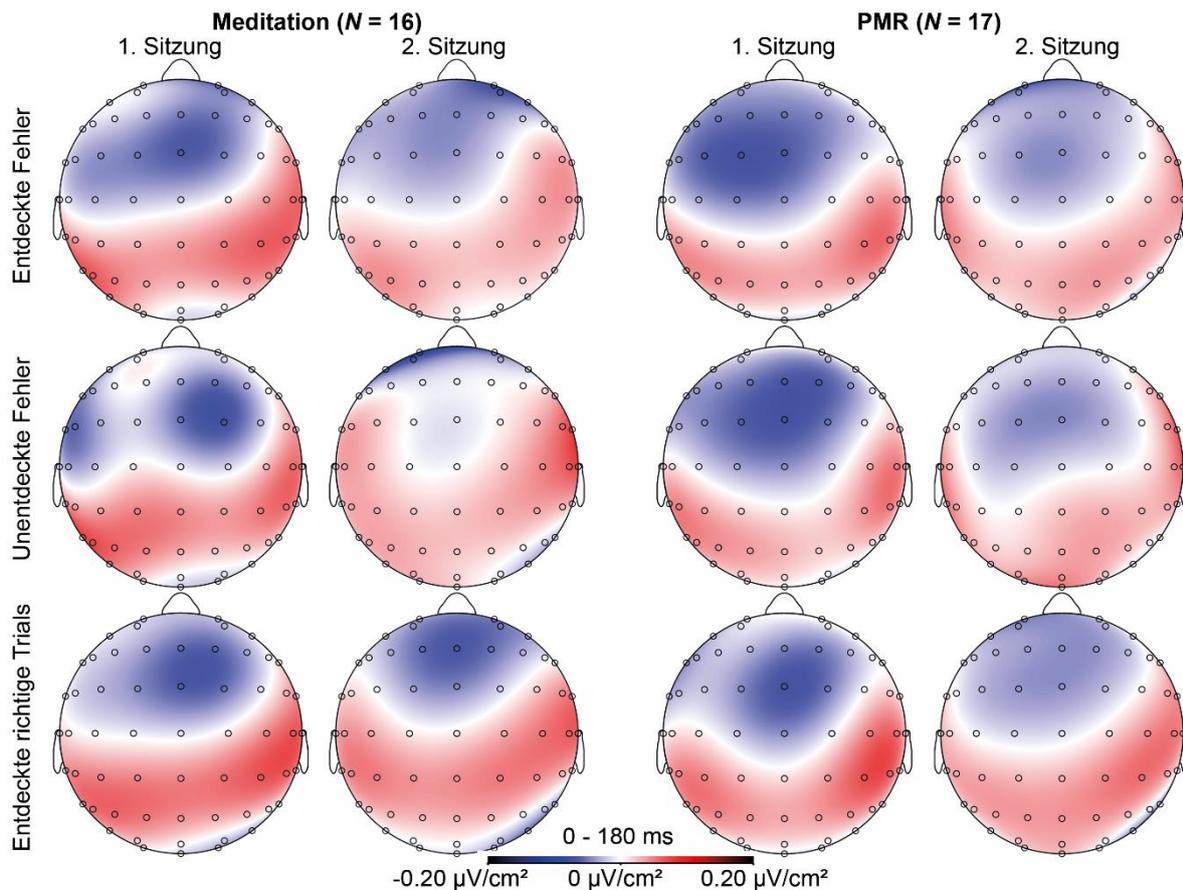


Abbildung 15: Hirnkartierungen für den mittleren Zeitbereich von 0 – 180 ms (Reaktionsbeginn bei 0 ms) getrennt nach Trainingsgruppe und Sitzung für entdeckte und unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge.

6.2.5 Fragebögen

Achtsamkeit (FFA und PHLMS). Um Achtsamkeit in dieser Studie zu messen, wurde auf die Verwendung des MAAS verzichtet und stattdessen der PHLMS (Cardaciotto et al., 2008) zusätzlich zum FFA (Buchheld & Walach, 2002) verwendet (siehe 5.2.4). Dazu wurde der englischsprachige PHLMS ins Deutsche übersetzt und von einem englischen Muttersprachler mit Deutschkenntnissen zurückübersetzt, um die Konsistenz der Bedeutung zu gewährleisten (siehe A.1 Übersetzter Fragebogen: PHLMS). Während der FFA einen globalen Faktor Achtsamkeit misst, besteht der PHLMS aus den unkorrelierten Faktoren Gewährsein und Akzeptanz (erste Sitzung: $r = -.021$, $p = .903$, zweite Sitzung: $r = .276$, $p = .099$, Studie von Cardaciotto et al., 2008: $r = -.10$, $p = .025$) und fragt auf fünfstufigen Skalen von 1 = nie bis 5 = sehr oft jeweils zehn Items ab. Während Gewährsein ausschließlich positiv gepolt ist, ist Akzeptanz ausschließlich negativ gepolt. Der PHLMS zeigte sowohl in der Validierungsstudie

(Gewahrsein: Cronbach's alpha = .75; Akzeptanz: Cronbach's alpha = .82, Cardaciotto et al., 2008), als auch in der vorliegenden Studie eine gute interne Konsistenz für Gewährsein (Cronbach's alpha erste Sitzung = .66, zweite Sitzung = .85) und Akzeptanz (Cronbach's alpha erste Sitzung = .87, zweite Sitzung = .87). Die Retest-Reliabilität betrug für Gewährsein $r = .512$ ($p = .002$) und für Akzeptanz: $r = .607$ ($p < .001$). Auch der FFA behielt in dieser Studie eine gute interne Konsistenz (erste Sitzung: $r = .85$, zweite Sitzung: $r = .87$), die Retest-Reliabilität betrug $r = .562$ ($p = .001$).

Impulsivität (BIS). Da zuvor Verbesserungen der Aufmerksamkeit und Verringerung der Impulsivität nach einem Achtsamkeitstraining beobachtet werden konnte (Zylowska et al., 2008), ist es interessant, diese Verbesserungen auch auf Ebene des Selbstberichts zu erfassen. Deshalb wurde in dieser Studie zusätzlich die Barratt Impulsiveness Scale (BIS; Barratt, 1959; Stanford, et al. 2009) verwendet. Zur Erfassung der Impulsivität wurde der BIS, Version 11 (Stanford, et al. 2009, deutsche Übersetzung von Preuss et al., 2008) benutzt, der 30 Items mit vierstufigen Rating-Skalen von nie/selten bis fast immer/immer erfragt. Es werden die drei Faktoren motorische Impulsivität (elf Items, Handeln ohne Hemmung vorherrschender Antworten), Impulsivität der Aufmerksamkeit (acht Items, mangelnder Fokus während einer Aufgabe), Impulsivität der Voraussicht (elf Items, Orientierung auf die Gegenwart, nicht vorausplanend) erfasst. Cronbach's alpha der Skalen waren in Validierungsstudien .69 bis .83 (Übersicht von Vasconcelos, Malloy-Diniz & Correa, 2012). In der vorliegenden Studie waren die Items jedoch weniger intern konsistent: Cronbach's alpha der 1. Sitzung: Aufmerksamkeit = .22, motorische Impulsivität = .50, Voraussicht = .48; Cronbach's alpha der 2. Sitzung: Aufmerksamkeit = .50, motorische Impulsivität = .58, Voraussicht = .59. Die Retest-Reliabilität betrug für Aufmerksamkeit $r = .475$ ($p = .005$), motorische Impulsivität $r = .722$ ($p < .001$), Voraussicht $r = .574$ ($p < .001$). Die Validität des Fragebogens wurde in vorherigen Studien (Übersicht von Vasconcelos et al., 2012) daran geprüft, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen einer gesunden Stichprobe und einer Stichprobe mit ProbandInnen, die an Aufmerksamkeitsdefizitstörung leiden, insofern gab, dass letztere höhere Werte aufwiesen.

Stresssymptome (ASS-SYM). Zur Messung der Wirksamkeit von Entspannungstrainings wurde spezifisch die „Änderungssensitive Symptomliste zu Entspannungserleben, Wohlbefinden, Beschwerden- und Problembelastungen“ (ASS-SYM, Krampen, 2006) entwickelt. Dabei wird die generelle Schwere der Symptome und Probleme von Stress auf 48 Items mit vierstufiger Ratingskala von 0 = „trat bei Ihnen überhaupt nicht (nie) auf“ bis 3 =

„trat bei Ihnen sehr häufig/stark ausgeprägt auf“ erfasst. Das Cronbach's alpha betrug in der Validierungsstudie .79 bis .95 und die Validität wurde insofern gewährleistet, dass die Items in einer Validierungsstudie änderungssensitiv nach einem PMR-Training waren (Krampen, 2007). Auch in dieser Studie zeigte ASS-SYM eine gute interne Konsistenz (Cronbach's alpha erste Sitzung = .82; zweite Sitzung = .95). Die Retest-Reliabilität betrug .555 ($p = .001$).

6.2.6 Statistik

Zur Validierung der Fragebögen und als Manipulation Check wurden Korrelationen der Fragebogen-Werte der ersten Sitzungen und zwischen den Veränderungswerten (Differenz zwischen Post- und Prätest-Wert) der Fragebogendaten nach Pearson berechnet.

Um den Effekt der Trainingsmethode auf verschiedene Fragebogen- und Verhaltensdaten hin zu untersuchen, wurden die beiden Gruppen in ihren Veränderungswerten mit Hilfe eines ALM mit Messwiederholung und der Betrachtung der Interaktionseffekte des Innersubjektfaktors *Sitzung* (erste versus zweite Sitzung) x Zwischensubjektfaktors *Trainingsgruppe* (Meditation versus PMR) verglichen: FFA, PHLMS Gewährsein und Akzeptanz, BIS motorische Impulsivität, Aufmerksamkeit und Voraussicht und ASS-SYM; sowie post-error slowing und post-error performance, Entscheidungskriterium c , Sensitivität d' und Gesamtfehlerrate. Dabei wurden die Post-Hoc-Tests der Veränderungswerte aufgeteilt nach Gruppenzugehörigkeit betrachtet und die partielle η^2 wurden als Effektgrößen angegeben und nach Cohen (1988) eingeschätzt. Cohen (1988) ging von kleinen Effekten bei einem $d = 0.2$ aus, was einem $\eta^2 = 0.010$ entspricht, mittleren Effekten bei einem $d = 0.5$ auf, entsprechend $\eta^2 = 0.059$, und großen Effekten bei einem $d = 0.8$ auf, entsprechend $\eta^2 = 0.138$.

Ein 2x2x3-ALM mit Messwiederholung wurde jeweils für die weiteren abhängigen Variablen (Reaktionszeit, RTSD, Peak-Amplituden von Ne/ERN und Pe) mit den Innersubjektfaktoren *Sitzung* (erste versus zweite Sitzung) und *Antwortart* (korrekte Reaktion, entdeckte Fehler und unentdeckte Fehler) und mit dem Zwischensubjektfaktor der *Trainingsgruppe* (Meditation versus PMR) berechnet. Wenn mit Hilfe des Mauchly-Tests Verletzungen der Sphärizität festgestellt wurden, wurden nach Greenhouse-Geisser korrigierte Freiheitsgrade verwendet. Bei signifikanten Effekten erfolgten Bonferroni-korrigierte Post-Hoc-Vergleiche mit alpha-adjustierten p -Werten. Effektgrößen wurden als partielle η^2 angegeben. Bei signifikanten Veränderungen in den Fragebogen-, Verhaltens- oder neuronalen Daten, wurden die Veränderungswerte nach Pearson miteinander korreliert.

6.3 Ergebnisse

Haupteffekte der Sitzung und der Trainingsgruppe werden hier nur für signifikante Ergebnisse berichtet, im Anhang finden sich jedoch die vollständigen 2x2-ALM-Tabellen der Selbstberichte (Anhang: Tabelle 3) und der Fehler-Verhaltensdaten (Anhang: Tabelle 4), sowie die vollständigen 2x2x3-ALM für Reaktionszeiten und RTSD (Anhang: Tabelle 5) und für Ne/ERN- und Pe-Peak-Amplituden (Anhang: Tabelle 6).

6.3.1 Selbstberichte und Manipulation Check

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Fragebogen-Daten aus erster und zweiter Sitzung, sowie die Korrelationskoeffizienten der Fragebogen-Daten der ersten Sitzung miteinander werden in Tabelle 5 präsentiert. Die Korrelationen zwischen FFA und den beiden Faktoren des PHLMS wurden signifikant (Gewahrsein: $r = .616, p < .001$; Akzeptanz: $r = .381, p < .05$). Nur der Faktor Akzeptanz des PHLMS korrelierte negativ mit dem ASS-SYM ($r = -.551, p < .001$). Keine andere Korrelation wurde signifikant (für alle $r: p > .10$).

Tabelle 5: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) der Fragebogen-Daten, Prä- (*t*₁) und Post-Testwerte (*t*₂), Korrelationskoeffizienten und *p*-Werte von *t*₁ und von den Veränderungswerten (*t*₂-*t*₁) (in kursiv).

Messwert (<i>t</i> ₁ / Δ <i>t</i> _{2-<i>t</i>₁)}	<i>M</i> _{<i>t</i>₁}	<i>SD</i> _{<i>t</i>₁}	<i>M</i> _{<i>t</i>₂}	<i>SD</i> _{<i>t</i>₂}	1 ^a	2	3	4	5	6	7
1. FFA	1.77	0.47	1.96	0.42	-	.522**	.741***	.449**	-.178	.304	-.560***
2. PHLMS Gewahrsein	3.58	0.49	3.75	0.62	.616***	-	.501**	.455**	-.065	-.165	-.462**
3. PHLMS Akzeptanz	3.03	0.78	3.34	0.73	.381*	-.055	-	.449**	-.498**	.141	-.641***
4. BIS motorische Impulsivität	1.08	0.33	1.05	0.33	.235	-.046	.010	-	-.030	-.046	-.075
5. BIS Aufmerk- samkeit	1.68	0.30	1.52	0.34	-.105	-.032	-.137	.141	-	.050	.339
6. BIS Voraussicht	2.45	0.28	2.46	0.30	.027	-.338	.169	.121	.190	-	-.131
7. ASS- SYM	50.54	17.68	35.85	19.54	-.292	.063	-.551***	-.147	.064	-.157	-

(*N* = 33).

^a Markiert mit * für *p* < .05, ** für *p* < .01 oder *** für *p* < .001, wenn die Korrelation signifikant ist.

Tabelle 5 zeigt außerdem die Korrelationskoeffizienten der Veränderungswerte (also Werte der zweiten Sitzung minus der ersten Sitzung, *t*₂-*t*₁). Ein Wachstum von erster zur zweiten Sitzung der Werte des FFA ging einher mit einer Steigerung des Gewahrseins (*r* = .522, *p* < .01) und der Akzeptanz (*r* = .741, *p* < .001) des PHLMS, sowie einer Steigerung der motorischen Impulsivität des BIS (*r* = .449, *p* < .01) und einer Verringerung der Symptome des ASS-SYM (*r* = -.560, *p* < .001). Eine Steigerung des Gewahrseins gemessen mit PHLMS korrelierte positiv mit einer Steigerung der Akzeptanz (*r* = .501, *p* < .01), einer Steigerung der motorischen Impulsivität (*r* = .455, *p* < .01) und einer Reduktion der Werte des ASS-SYM (*r* = -.462, *p* < .01). Ein Anstieg der Akzeptanz gemessen mit PHLMS ging außerdem einher mit einem Anstieg motorischer Impulsivität (*r* = .449, *p* < .01) und einer Reduktion auf dem Faktor Aufmerksamkeit des BIS (*r* = -.498, *p* < .01), sowie einer Reduktion der Symptome gemessen

mit ASS-SYM ($r = -.641, p < .001$). Veränderungen der Werte der Faktoren des BIS korrelierten nicht signifikant untereinander oder mit dem ASS-SYM (für alle $r: p > .10$).

Gruppenvergleich der Veränderungswerte. Tabelle 6 zeigt die Fragebogen-Daten der zwei Sitzungen separat für die beiden Bedingungen Meditation und PMR und deren jeweilige Veränderungswerte.

Tabelle 6: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte) der Fragebogen-Daten getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t_1, t_2), Veränderungswerte der Gruppen, Statistik der Veränderungswerte (p), Statistik für Gruppenvergleiche der Veränderungswerte (p, η^2) und Einschätzung der Effektgrößen nach Cohen (1988).

		t1 (SEM)	t2 (SEM)	$\Delta_{t_2-t_1}$ (SEM) ^a	$p_{\Delta_{t_2-t_1}}$	p	η^2	Einschätzung																																																																																
FFA	Med	1.86 (0.12)	2.08 (0.10)	0.23* (0.11)	.040	.678	.006	Kein Effekt																																																																																
	PMR	1.69 (0.12)	1.85 (0.10)	0.17 (0.10)	.119				PHLMS Gewahrsein	Med	3.69 (0.12)	3.84 (0.16)	0.15 (0.14)	.302	.895	.001	Kein Effekt	PMR	3.49 (0.12)	3.67 (0.15)	0.18 (0.14)	.213	PHLMS Akzeptanz	Med	3.00 (0.20)	3.28 (0.18)	0.28 (0.17)	.108	.840	.001	Kein Effekt	PMR	3.06 (0.19)	3.39 (0.18)	0.33 (0.17)	.055	BIS motorische Impulsivität	Med	1.10 (0.08)	1.03 (0.09)	-0.07 (0.06)	.250	.341	.029	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.06 (0.08)	1.07 (0.08)	0.01 (0.06)	.859	BIS Aufmerk- samkeit	Med	1.67 (0.08)	1.43 (0.08)	-0.24** (0.08)	.007	.229	.046	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.67 (0.08)	1.60 (0.08)	-0.10 (0.08)	.235	BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672	ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR
PHLMS Gewahrsein	Med	3.69 (0.12)	3.84 (0.16)	0.15 (0.14)	.302	.895	.001	Kein Effekt																																																																																
	PMR	3.49 (0.12)	3.67 (0.15)	0.18 (0.14)	.213				PHLMS Akzeptanz	Med	3.00 (0.20)	3.28 (0.18)	0.28 (0.17)	.108	.840	.001	Kein Effekt	PMR	3.06 (0.19)	3.39 (0.18)	0.33 (0.17)	.055	BIS motorische Impulsivität	Med	1.10 (0.08)	1.03 (0.09)	-0.07 (0.06)	.250	.341	.029	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.06 (0.08)	1.07 (0.08)	0.01 (0.06)	.859	BIS Aufmerk- samkeit	Med	1.67 (0.08)	1.43 (0.08)	-0.24** (0.08)	.007	.229	.046	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.67 (0.08)	1.60 (0.08)	-0.10 (0.08)	.235	BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672	ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001										
PHLMS Akzeptanz	Med	3.00 (0.20)	3.28 (0.18)	0.28 (0.17)	.108	.840	.001	Kein Effekt																																																																																
	PMR	3.06 (0.19)	3.39 (0.18)	0.33 (0.17)	.055				BIS motorische Impulsivität	Med	1.10 (0.08)	1.03 (0.09)	-0.07 (0.06)	.250	.341	.029	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.06 (0.08)	1.07 (0.08)	0.01 (0.06)	.859	BIS Aufmerk- samkeit	Med	1.67 (0.08)	1.43 (0.08)	-0.24** (0.08)	.007	.229	.046	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.67 (0.08)	1.60 (0.08)	-0.10 (0.08)	.235	BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672	ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001																								
BIS motorische Impulsivität	Med	1.10 (0.08)	1.03 (0.09)	-0.07 (0.06)	.250	.341	.029	Kleiner Effekt ^{Med}																																																																																
	PMR	1.06 (0.08)	1.07 (0.08)	0.01 (0.06)	.859				BIS Aufmerk- samkeit	Med	1.67 (0.08)	1.43 (0.08)	-0.24** (0.08)	.007	.229	.046	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	1.67 (0.08)	1.60 (0.08)	-0.10 (0.08)	.235	BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672	ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001																																						
BIS Aufmerk- samkeit	Med	1.67 (0.08)	1.43 (0.08)	-0.24** (0.08)	.007	.229	.046	Kleiner Effekt ^{Med}																																																																																
	PMR	1.67 (0.08)	1.60 (0.08)	-0.10 (0.08)	.235				BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672	ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001																																																				
BIS Voraussicht	Med	2.49 (0.07)	2.55 (0.07)	0.06 (0.07)	.376	.353	.028	Kleiner Effekt ^{PMR}																																																																																
	PMR	2.41 (0.07)	2.38 (0.07)	-0.03 (0.07)	.672				ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001																																																																		
ASS-SYM	Med	48.13 (4.45)	34.44 (4.95)	-13.69** (4.47)	.005	.755	.003	Kein Effekt																																																																																
	PMR	52.82 (4.32)	37.18 (4.80)	-15.65** (4.34)	.001																																																																																			

(Meditation: $N = 16$; PMR: $N = 17$)

^a Markiert mit * für $p < .05$, ** für $p < .01$ oder *** für $p < .001$, wenn die Korrelation signifikant ist.

Für die Werte des FFA gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung [$F(1, 31) = 7.042, p < .05, \eta^2 = .185$]. Der FFA-Wert veränderte sich signifikant jedoch nur für die

Meditationsgruppe [Δ_{t2-t1} : $M \pm SEM = 0.23 \pm 0.11$, $p < .05$], es gab allerdings keinen Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Veränderungswerte [$F(1, 31) = 0.176$, $p = .678$, $\eta^2 = .006$, siehe Anhang: Tabelle 3]. Für die Werte des Faktors Akzeptanz des PHLMS gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung [$F(1, 31) = 6.645$, $p < .05$, $\eta^2 = .177$], der sich jedoch getrennt nach Gruppen nicht mehr zeigte (für alle $p > .10$). Es gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung für die Werte des Faktor Aufmerksamkeit des BIS [$F(1, 31) = 8.498$, $p < .01$, $\eta^2 = .215$]. Auf dem Faktor Aufmerksamkeit des BIS gab es jedoch nur innerhalb der Meditationsgruppe eine signifikante Verringerung der Werte [$\Delta_{t2-t1} = -0.24 \pm 0.08$, $p < .01$]. Der Unterschied zwischen den Gruppen wurde nicht signifikant und ist nach Cohen (1988) als klein einzustufen [$F(1, 31) = 1.508$, $p = .229$, $\eta^2 = .046$] (siehe Abbildung 16).

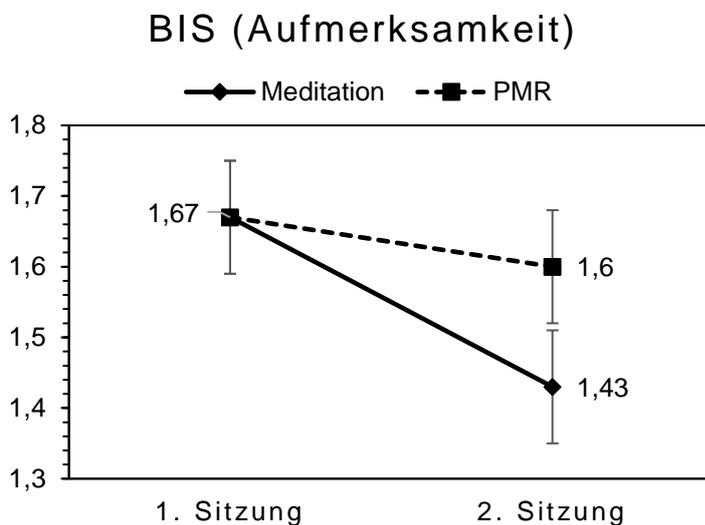


Abbildung 16: Interaktionsdiagramm des kleinen Effekts der Meditationsgruppe gegenüber der PMR-Gruppe bezüglich der Veränderung des Faktors Aufmerksamkeit auf der BIS-Skala.

Es gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung für die Werte des ASS-SYM [$F(1, 31) = 22.189$, $p < .001$, $\eta^2 = .417$]. Beide Gruppen zeigten gleichermaßen [$F(1, 31) = 0.099$, $p = .755$, $\eta^2 = .003$] signifikante Verringerungen in den Werten des ASS-SYM [Meditation: $\Delta_{t2-t1} = -13.69 \pm 4.47$, $p < .01$; PMR: $\Delta_{t2-t1} = -15.65 \pm 4.34$, $p < .01$]. Die Steigerung der Akzeptanz gemessen mit PHLMS in der PMR-Gruppe konnte das 5%-Signifikanzlevel nicht erreichen [$\Delta_{t2-t1} = 0.33 \pm 0.17$, $p = .055$]. Auf allen anderen Skalen konnten in beiden Gruppen jeweils keine signifikanten Veränderungen gemessen werden (für alle $p > .10$). Die Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich ihrer Veränderungswerte in den Faktoren motorische

Impulsivität [$F(1, 31) = 0.935, p = .341, \eta^2 = .029$] und Voraussicht [$F(1, 31) = 0.889, p = .353, \eta^2 = .028$], die nicht signifikant wurden und deren Effekte jedoch nach Cohen (1988) als klein eingestuft werden könnten.

6.3.2 Verhaltensleistungen

Fehler-Verhaltensdaten. In Tabelle 7 sind post-error slowing, post-error performance, Entscheidungskriterium c , Sensitivität d' und Gesamtfehlerrate (entdeckte und unentdeckte Fehler kombiniert) getrennt nach Trainingsgruppen und Sitzung und ihre jeweiligen Veränderungswerte abgebildet.

Tabelle 7: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Verhaltensdaten (post-error slowing, post-error performance, Entscheidungskriterium c , Sensitivität d' , Gesamtfehlerrate) getrennt nach erster und zweiter Sitzung ($t1, t2$), Veränderungswerte der Gruppen, Statistik der Veränderungswerte (p), Statistik für Gruppenvergleiche der Veränderungswerte (p, η^2) und Einschätzung der Effektgrößen nach Cohen (1988).

		t1 (SEM)	t2 (SEM)	Δ_{t2-t1} (SEM) ^a	$p_{\Delta_{t2-t1}}$	p	η^2	Einschätzung																																																				
Post-error slowing [ms]	Med	20.52 (5.27)	10.66 (4.81)	-9.86 (5.99)	.110	.304	.034	Kleiner Effekt ^{Med}																																																				
	PMR	15.17 (5.11)	14.04 (4.67)	-1.14 (5.81)	.846				Post-error performance	Med	0.46 (0.04)	0.61 (0.05)	0.14 ^{***} (0.04)	.001	.536	.012	Kleiner Effekt ^{PMR}	PMR	0.50 (0.04)	0.68 (0.05)	0.17 ^{***} (0.04)	.001	Entscheidungskriterium c	Med	0.04 (0.20)	0.16 (0.20)	0.12 (0.23)	.598	.463	.017	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	-0.04 (0.19)	-0.15 (0.20)	-0.12 (0.22)	.609	Sensitivität d'	Med	-0.04 (0.31)	0.18 (0.29)	0.22 (0.37)	.548	.404	.023	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	0.04 (0.30)	-0.17 (0.28)	-0.21 (0.36)	.560	Gesamtfehlerrate [%]	Med	35.3 (3.7)	27.6 (4.3)	-0.08* (0.03)	.015	.603	.009	Kein Effekt	PMR
Post-error performance	Med	0.46 (0.04)	0.61 (0.05)	0.14 ^{***} (0.04)	.001	.536	.012	Kleiner Effekt ^{PMR}																																																				
	PMR	0.50 (0.04)	0.68 (0.05)	0.17 ^{***} (0.04)	.001				Entscheidungskriterium c	Med	0.04 (0.20)	0.16 (0.20)	0.12 (0.23)	.598	.463	.017	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	-0.04 (0.19)	-0.15 (0.20)	-0.12 (0.22)	.609	Sensitivität d'	Med	-0.04 (0.31)	0.18 (0.29)	0.22 (0.37)	.548	.404	.023	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	0.04 (0.30)	-0.17 (0.28)	-0.21 (0.36)	.560	Gesamtfehlerrate [%]	Med	35.3 (3.7)	27.6 (4.3)	-0.08* (0.03)	.015	.603	.009	Kein Effekt	PMR	35.8 (3.5)	25.9 (4.2)	-0.10** (0.03)	.002										
Entscheidungskriterium c	Med	0.04 (0.20)	0.16 (0.20)	0.12 (0.23)	.598	.463	.017	Kleiner Effekt ^{Med}																																																				
	PMR	-0.04 (0.19)	-0.15 (0.20)	-0.12 (0.22)	.609				Sensitivität d'	Med	-0.04 (0.31)	0.18 (0.29)	0.22 (0.37)	.548	.404	.023	Kleiner Effekt ^{Med}	PMR	0.04 (0.30)	-0.17 (0.28)	-0.21 (0.36)	.560	Gesamtfehlerrate [%]	Med	35.3 (3.7)	27.6 (4.3)	-0.08* (0.03)	.015	.603	.009	Kein Effekt	PMR	35.8 (3.5)	25.9 (4.2)	-0.10** (0.03)	.002																								
Sensitivität d'	Med	-0.04 (0.31)	0.18 (0.29)	0.22 (0.37)	.548	.404	.023	Kleiner Effekt ^{Med}																																																				
	PMR	0.04 (0.30)	-0.17 (0.28)	-0.21 (0.36)	.560				Gesamtfehlerrate [%]	Med	35.3 (3.7)	27.6 (4.3)	-0.08* (0.03)	.015	.603	.009	Kein Effekt	PMR	35.8 (3.5)	25.9 (4.2)	-0.10** (0.03)	.002																																						
Gesamtfehlerrate [%]	Med	35.3 (3.7)	27.6 (4.3)	-0.08* (0.03)	.015	.603	.009	Kein Effekt																																																				
	PMR	35.8 (3.5)	25.9 (4.2)	-0.10** (0.03)	.002																																																							

(Meditation: $N = 16$; PMR: $N = 17$)

^a Markiert mit * für $p < .05$, ** für $p < .01$ oder *** für $p < .001$, wenn die Korrelation signifikant ist.

Es gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung für post-error performance [$F(1, 31) = 38.852, p < .001, \eta^2 = .556$]. In der zweiten Sitzung verbesserte sich in beiden Gruppen die post-error performance [Meditation: $\Delta_{t2-t1} M \pm SEM = 0.14 \pm 0.04, p < .001$; PMR: $\Delta_{t2-t1} = 0.17 \pm 0.04, p < .001$]. Der Unterschied in den Veränderungswerten wurde zwar nicht signifikant, konnte nach Cohen (1988) aber als klein mit Vorteil für PMR eingestuft werden [$F(1, 31) = 0.392, p = .536, \eta^2 = .012$]. Es gab einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung für Gesamtfehlerrate [$F(1, 31) = 17.662, p < .001, \eta^2 = .363$]. Die Gesamtfehlerrate verbesserte sich gleichermaßen [Meditation: $\Delta_{t2-t1} = -0.08 \pm 0.03, p < .05$; PMR: $\Delta_{t2-t1} = -0.10 \pm 0.03, p < .01$; $F(1, 31) = 0.276, p = .603, \eta^2 = .009$]. In allen anderen Verhaltensdaten (post-error slowing, c und d') konnten in beiden Gruppen jeweils keine signifikanten Veränderungen gemessen werden (für alle $p > .10$, siehe Anhang: Tabelle 4). Die Unterschiede zwischen den Gruppen mit Vorteil für Meditation bezüglich ihrer Veränderungswerte in den Faktoren post-error slowing [$F(1, 31) = 1.094, p = .304, \eta^2 = .034$], c [$F(1, 31) = 0.552, p = .463, \eta^2 = .017$] und d' [$F(1, 31) = 0.715, p = .404, \eta^2 = .023$], die nicht signifikant wurden, deren Effekte jedoch nach Cohen (1988) als klein eingestuft werden könnten.

Reaktionszeiten. In Tabelle 8 befinden sich die Reaktionszeiten und RTSD getrennt nach Antwortart (entdeckte Fehler, unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge), Sitzung und Trainingsgruppe.

Tabelle 8: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Verhaltensdaten (Reaktionszeit, RT; Reaktionszeitvariabilität, RTSD) getrennt nach erster und zweiter Sitzung ($t1, t2$) und nach Antwortart.

		Entdeckte Fehler		Unentdeckte Fehler		Entdeckte richtige Durchgänge	
		$t1$ (SEM)	$t2$ (SEM)	$t1$ (SEM)	$t2$ (SEM)	$t1$ (SEM)	$t2$ (SEM)
RT [ms]	Med	381 (18)	347 (22)	432 (25)	421 (28)	455 (21)	418 (23)
	PMR	386 (17)	367 (21)	412 (24)	416 (27)	448 (20)	418 (22)
RTSD [ms]	Med	141 (9)	139 (9)	162 (9)	149 (9)	132 (6)	107 (6)
	PMR	132 (8)	126 (9)	142 (9)	131 (9)	131 (6)	103 (6)

(Meditation: $N = 16$; PMR: $N = 17$)

Bezüglich der Reaktionszeit als abhängige Variable, ergab das ALM (Antwortart x Sitzung x Trainingsgruppe) einen signifikanten Haupteffekt für Antwortart [$F(1.608, 49.862) = 34.272, p < .001, \eta^2 = .525$]. Probandinnen antworteten schneller bei entdeckten Fehlern (370 ± 13 ms) als bei unentdeckten Fehlern (420 ± 17 ms, $p < .001$) und richtigen Durchgängen (435 ± 14 ms, $p < .001$), wobei sich die Reaktionszeit für unentdeckte Fehler und richtige Durchgänge nicht unterschied ($p = .206$). Der Haupteffekt der Sitzung konnte das 5%-Signifikanzniveau nicht erreichen [$F(1, 31) = 3.965, p = .055, \eta^2 = .113$]. Schließlich gab es einen signifikanten Interaktionseffekt von Sitzung und Antwortart [$F(2, 62) = 3.291, p < .05, \eta^2 = .096$]. In der ersten Sitzung wurden Antworten bei entdeckten Fehlern (383 ± 13 ms) am schnellsten gemacht ($p < .01$ und $p < .001$), gefolgt von unentdeckten Fehlern (422 ± 17 ms), die schneller ($p < .05$) als richtige Antworten (452 ± 15 ms) abgegeben wurden. In der zweiten Sitzung wurden entdeckte Fehler (357 ± 15 ms) schneller als unentdeckte Fehler (418 ± 20 ms, $p < .001$) und richtige Antworten (418 ± 16 ms, $p < .001$) gemacht, die sich beide nicht voneinander unterschieden ($p = 1.00$). Probandinnen waren in der ersten Sitzung langsamer als in der zweiten Sitzung, wenn sie entdeckte Fehler (383 ± 13 ms vs. 357 ± 15 ms, $p < .05$) oder richtige Antworten (452 ± 15 ms vs. 418 ± 16 ms, $p < .05$) abgaben. Es gab keinen Unterschied bei unentdeckten Fehlern (422 ± 17 ms vs. 418 ± 20 ms, $p = .800$). Der Haupteffekt der Gruppe oder die Interaktionseffekte wurden nicht signifikant (all $p > .10$, siehe Anhang: Tabelle 5).

Reaktionszeitvariabilität. In Tabelle 8 sind auch die RTSD-Daten äquivalent zu den RT-Daten abgebildet. Das 3x2x2-ALM ergab einen signifikanten Haupteffekt für Antwortart [$F(2, 62) = 17.295, p < .001, \eta^2 = .358$]. Die Antworten der Probandinnen zeigten eine höhere RTSD sowohl für unentdeckte Fehler (146 ± 5 ms) und entdeckte Fehler (135 ± 6 ms) als für richtige Antworten (118 ± 4 ms, $p < .01$ bzw. $p < .001$), die sich beide nicht unterschieden ($p = .061$). Außerdem gab es einen signifikanten Haupteffekt der Sitzung [$F(1, 31) = 14.071, p < .001, \eta^2 = .312$]: Die RTSD nahm in der zweiten Sitzung (126 ± 5 ms) im Vergleich zur ersten Sitzung (140 ± 5 ms) ab. Schließlich gab es einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Sitzung und Antwortart [$F(1.624, 50.355) = 5.214, p < .05, \eta^2 = .144$]. In der ersten Sitzung waren die Antwortzeiten bei unentdeckten Fehlern (152 ± 6 ms) variabler als bei entdeckten Fehler (137 ± 6 ms, $p < .05$) und richtigen Antworten (131 ± 4 ms, $p < .01$), welche sich beide nicht voneinander unterschieden ($p = .787$). In der zweiten Sitzung waren die Reaktionszeiten bei entdeckten (132 ± 7 ms) und nichtentdeckten Fehlern gleich variabel (140 ± 7 ms, $p = .812$), aber beide waren variabler im Vergleich zu richtigen Antworten (105 ± 5 ms, $p < .001$ bzw. p

< .001). Bezüglich entdeckter Fehler zeigten die Probandinnen keinen Unterschied in der RTSD zwischen erster und zweiter Sitzung (137 ± 6 ms vs. 132 ± 7 ms, $p = .426$). Das gleiche galt für unentdeckte Fehler (152 ± 6 ms vs. 140 ± 7 ms, $p = .101$). Die Probandinnen antworteten jedoch weniger variabel in der zweiten im Vergleich zur ersten Sitzung, wenn sie richtige Antworten abgaben (131 ± 4 ms vs. 105 ± 5 ms, $p < .001$). Der Haupteffekt der Gruppe oder die Interaktionseffekte wurden nicht signifikant (all $p > .10$, siehe Anhang: Tabelle 5).

6.3.3 Ereigniskorrelierte Potentiale

Die Peak-Amplituden der ERPs Ne/ERN und Pe sind in Tabelle 9 abgebildet.

Tabelle 9: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Peak-Amplituden (Ne/ERN Peak; Pe Peak) getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t_1 , t_2) und nach Antwortart.

		Entdeckte Fehler		Unentdeckte Fehler		Entdeckte richtige Durchgänge	
		t_1 (SEM)	t_2 (SEM)	t_1 (SEM)	t_2 (SEM)	t_1 (SEM)	t_2 (SEM)
Ne/ERN Peak [μ V/cm ²]	Med	-0.198 (0.028)	-0.211 (0.034)	-0.217 (0.030)	-0.165 (0.022)	-0.172 (0.025)	-0.145 (0.017)
	PMR	-0.169 (0.027)	-0.181 (0.033)	-0.196 (0.029)	-0.176 (0.021)	-0.150 (0.024)	-0.122 (0.016)
Pe Peak [μ V/cm ²]	Med	0.104 (0.021)	0.153 (0.031)	0.114 (0.024)	0.121 (0.025)	0.052 (0.018)	0.081 (0.021)
	PMR	0.085 (0.021)	0.136 (0.030)	0.065 (0.023)	0.106 (0.025)	0.040 (0.017)	0.055 (0.020)

(Meditation: $N = 16$; PMR: $N = 17$)

Die reaktionsbezogen gemittelten ERP-Verläufe an der FCz und Cz werden in Abbildung 17 a) und 16 b) dargestellt.

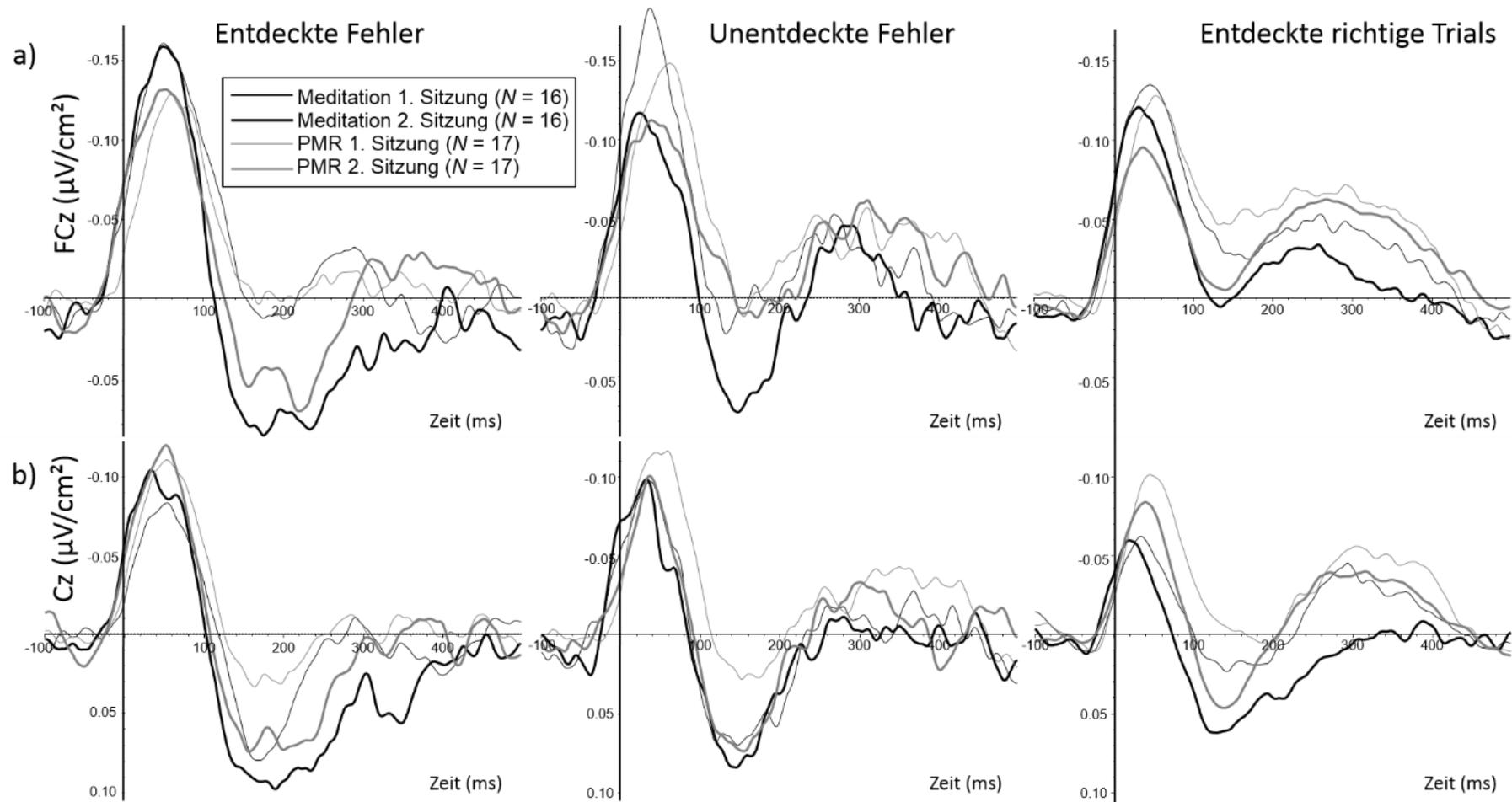


Abbildung 17: Current Source Density-Verläufe des reaktionsbezogen gemittelten Ereigniskorrelierten Potentials an der a) FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) und b) Cz für entdeckte und unentdeckte Fehler und korrekte Durchgänge. Verläufe getrennt nach Trainingsgruppe und Sitzung. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen.

Ne/ERN. Das 3x2x2-ALM der Ne/ERN (oder CRN für korrekte Durchgänge) Peak-Amplituden ergab einen signifikanten Haupteffekt für Antwortart [$F(2, 62) = 10.804, p < .001, \eta^2 = .258$]. Die Amplituden für entdeckte Fehler ($-0.190 \pm 0.018 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) und unentdeckte Fehler ($-0.188 \pm 0.016 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) waren beide negativer als die für richtige Durchgänge ($-0.147 \pm 0.012 \mu\text{V}/\text{cm}^2, p < .01$ bzw. $p < .001$), sie unterschieden sich jedoch nicht voneinander ($p = 1.00$). Keine weiteren Haupt- oder Interaktionseffekte wurden signifikant (alle $p > .10$).

Pe. Das 3x2x2-ALM der Pe-Peak-Amplituden ergab ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt für Antwortart [$F(2, 62) = 16,153, p < .001, \eta^2 = .343$]. Auch hier unterschieden sich entdeckte Fehler ($0.120 \pm 0.016 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) nicht signifikant von unentdeckten Fehlern ($0.102 \pm 0.013 \mu\text{V}/\text{cm}^2, p = 0.321$), beide gingen aber mit höheren Amplituden im Vergleich zu korrekten Durchgängen einher ($0.057 \pm 0.011 \mu\text{V}/\text{cm}^2, p < .01$ bzw. $p < .001$). Zudem wurden der Haupteffekt Sitzung signifikant [$F(1, 31) = 4.707, p < .05, \eta^2 = .132$]. Antworten in der zweiten Sitzung ($0.109 \pm 0.015 \mu\text{V}/\text{cm}^2$) gingen einher mit größeren Amplituden als in der ersten Sitzung ($0.077 \pm 0.013 \mu\text{V}/\text{cm}^2$). Keine weiteren Haupt- oder Interaktionseffekte wurden signifikant (alle $p > .10$).

Korrelationen der Veränderungswerte von Selbstberichten, ERPs und Verhaltensdaten. Da es signifikante Veränderungen von erster zu zweiter Sitzung für verschiedene Verhaltensdaten (Reaktionszeit für korrekte Durchgänge, Reaktionszeit für entdeckte Fehler, RTSD über alle Antwortarten hinweg, RTSD für korrekte Durchgänge, post-error performance und Gesamtfehlerrate) und für die Peak-Amplituden der Pe (sowohl gemittelt über unentdeckte und entdeckte Fehler, als auch gemittelt über alle Antwortarten hinweg) gab, wurden die Differenzen (t_2 minus t_1) dieser Werte berechnet, damit deren Zusammenhänge mit den signifikanten Veränderungen auf Selbstbericht-Ebene (FFA, PHLMS Akzeptanz, BIS Aufmerksamkeit, ASS-SYM) berechnet werden konnten (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Korrelationen (r und p -Werte) der Veränderungswerte (Δ_{t2-t1}) auf Ebene der Selbstberichte mit den Verhaltensveränderungen (Reaktionszeit, RT; Reaktionszeitvariabilität, RTSD) und Veränderungen der Pe-Peak-Amplitude (gemittelt über beide Fehlerarten und gemittelt über alle Antwortarten).

	Δ_{t2-t1}		Δ_{t2-t1}		Δ_{t2-t1}		Δ_{t2-t1} ASS-	
	Achtsamkeit		Akzeptanz		Aufmerksamkeit		SYM	
	(FFA)		(PHLMS)		(BIS)			
	r	p	r	p	r	p	r	p
Δ_{t2-t1} Pe beide Fehlerarten	.276	.120	.209	.244	-.208	.246	.031	.866
Δ_{t2-t1} Pe alle Antwortarten	-.049	.786	-.190	.290	.289	.103	.323	.067
Δ_{t2-t1} RTSD (gesamt)	.107	.553	.060	.742	-.088	.628	.027	.879
Δ_{t2-t1} RTSD (korrekt)	-.271	.128	-.299	.090	.143	.428	.325	.065
Δ_{t2-t1} RT (korrekt)	.486	.004	.392	.024	-.162	.367	-.410	.018
Δ_{t2-t1} RT (entdeckte Fehler)	.062	.730	.098	.587	.023	.900	-.203	.258
Δ_{t2-t1} post-error performance	.003	.985	.120	.505	-.012	.946	-.009	.961
Δ_{t2-t1} Gesamtfehlerrate	-.336	.056	-.257	.149	-.042	.815	.146	.417

($N = 33$)

Eine Veränderung der Achtsamkeit gemessen mit FFA korrelierte mit der Reaktionszeit für korrekte Antworten ($r = .486, p < .01$), also ein Anstieg der Achtsamkeit ging einher mit einer geringeren Reaktionszeitabnahme. Auch ein Anstieg im Faktor Akzeptanz des PHLMS ging mit solch einer geringeren Reaktionszeitabnahme für korrekte Antworten einher ($r = .392, p < .05$), sowie eine Abnahme der Stresssymptome gemessen mit ASS-SYM ($r = -.410, p < .05$). Der Zusammenhang des Anstiegs der Achtsamkeit (FFA) und der Verringerung der Gesamtfehlerrate konnte das 5%-Signifikanzniveau nicht erreichen ($r = -.336, p = .056$). Die Verringerung der RTSD bei korrekten Durchgängen korrelierte ebenfalls nicht signifikant mit dem Anstieg des Faktors Akzeptanz ($r = -.299, p = .090$) und der Abnahme der Stresssymptome ($r = .325, p = .065$). Der negative Zusammenhang des Anstiegs der Pe für alle Antwortarten mit der Abnahme der Stresssymptome konnte ebenfalls nicht das 5%-Signifikanzlevel erreichen ($r = -.323, p = .067$). Es konnte keine Korrelation mit Veränderungen der Aufmerksamkeit gemessen mit BIS und Veränderungswerten auf Verhaltens- oder neurophysiologischer Ebene gefunden werden.

Replikation der Ergebnisse aus Studie 1. Um die Ergebnisse der Studie 1 erneut zu überprüfen, wurde die Differenz der Amplituden der Ne/ERN von entdeckten minus

unentdeckten Fehlern der ersten Sitzung berechnet und mit Hilfe einer Regressionsanalyse mit den unabhängigen Variablen Emotionale Stabilität (zentriert), FFA (zentriert) und deren Produkt, also deren Interaktion, vorhergesagt. Keines der Beta-Gewichte erreicht hier die Signifikanz (FFA: $\beta = -.089$, $p = .790$; ES: $\beta = .057$, $p = .790$; FFA x ES: $\beta = .088$, $p = .650$).

6.4 Diskussion

Ziel der Studie 2 dieser Arbeit war die möglichen Mechanismen der Achtsamkeitsmeditation im Bereich der Performanzüberwachung und Fehlerverarbeitung zu überprüfen. Dies geschah mit einer randomisierten Studie mit aktiver Kontrollgruppe, bei der ein vierwöchiges Training von entweder Achtsamkeitsmeditation oder PMR mit Hilfe eines Smartphones trainiert wurde.

Die Forschungsfrage, ob Fehlerverarbeitung im Zusammenhang mit den positiven Effekten des Achtsamkeitstrainings steht, konnte aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht eindeutig beantwortet werden. So konnte auch die Hypothese, dass die Veränderungswerte der unterschiedlichen Komponenten der Achtsamkeit mit der Veränderung der Pe einhergehen, nicht bestätigt werden. Dennoch gibt es über beide Gruppen hinweg Veränderungen der Fehlerverarbeitung, die im Folgenden diskutiert werden. Außerdem gibt es Hinweise, dass ein Training zur Steigerung von Achtsamkeit in Beziehung zu einer verbesserten Aufmerksamkeit - als ein weiterer Bestandteil der Performanzüberwachung - steht, wie es auch in früheren Studien gefunden werden konnte (z.B. Jha et al., 2007).

Trainingseffekte auf selbst-berichtete Stressreduktion. Beide Trainingsmethoden verringerten erfolgreich Stresssymptome bei den Probandinnen. Dies ist vergleichbar mit früheren Studien, in denen sowohl PMR als auch Achtsamkeitsmeditation zu einer Verringerung von Stress und Steigerung des Wohlbefindens führte (Ortner, Kilner & Zelazo, 2007). Eine einfache täglich verwendete Selbst-Hilfe in Form einer Smartphone-Applikation kann also für Personen, die ihren Stress reduzieren möchten, nützlich sein. Dazu war weder eine Anleitung durch eine Lehrperson oder das Setting einer Gruppe nötig, um signifikante Stressreduktion für beide Entspannungstrainings zu erreichen. Dies ist vielversprechend für Menschen, die sich keine teuren MBSR-Kurse leisten können, ein Training allein präferieren oder Meditation niedrigschwellig beginnen wollen (Wahbeh, Svalina, & Oken, 2014).

Trainingseffekte auf neuronale Korrelate der Fehlerverarbeitung. Um die Mechanismen der Achtsamkeitsmeditation auf Stressreduktion und Steigerung des

Wohlbefindens zu verstehen, ist es nötig sich die verschiedenen möglichen zugrundeliegenden kognitiven und emotionalen Komponenten näher anzuschauen (Britton, 2013). Deshalb wurden in dieser Studie Performanzüberwachung und Fehlerverarbeitung betrachtet, da beide sowohl in der Studie 1 als auch in früheren Studien (Larson et al., 2013; Teper & Inzlicht, 2013) mit Achtsamkeit zusammenhingen. In dieser Studie, in der ein Training mit aktiver Kontrollgruppe verwendet wurde, konnte kein Effekt auf die Ne/ERN gefunden werden. Dieses Ergebnis passt jedoch zu vorherigen Studienergebnissen, in denen Ne/ERN als eine Trait-ähnliche Komponente interpretiert wurde, die stabil über die Zeit bleibt (Larson et al., 2013), oder in denen Konflikt-Überwachungsprozesse sich nach einem Achtsamkeitstraining nicht verbesserten (Jha et al., 2007).

Bezüglich der zweiten Fehlerverarbeitungs-komponente Pe konnte kein spezifischer Gruppeneffekt gefunden werden, die Pe stieg aber in ihrer Amplitude von der ersten zur zweiten Sitzung unabhängig von der Trainingsgruppe an. Dieses Ergebnis kann auf unterschiedliche Weise interpretiert werden. Achtsamkeitsmeditation und PMR könnten beide die Aktivität der späteren Fehlerverarbeitung aufgrund eines gemeinsamen Trainingseffekts gesteigert haben oder es gab lediglich einen spezifischen Trainingseffekt durch die wiederholte Ausführung der Aufgabe, der zum Anstieg der Aktivität führte. Um zwischen diesen Möglichkeiten differenzieren zu können, wäre eine zusätzliche inaktive Warte-Kontrollgruppe nötig. Der Anstieg der Pe hing nicht mit dem Anstieg von Achtsamkeit, emotionale Akzeptanz oder Abnahme des Aufmerksamkeitsfaktors gemessen mit dem BIS zusammen. Die Korrelation des Anstiegs der Pe mit Stressreduktion von $r = .323$, die das 5%-Signifikanzlevel nicht erreichen konnte ($p = .067$), könnte Hinweise geben, dass das Entspannungstraining einen kleinen Anteil an der Veränderung der Pe hatte, da die aufgeklärte Varianz bereits 10% betrug. Jedoch gab es keine Korrelation mit der Gesamttrainingsdauer ($r = .086$, $p = .638$). Deshalb ist aufgrund der vorliegenden Datenlage die Interpretation wahrscheinlicher, dass es lediglich zu einem Trainingseffekt durch Wiederholung der Aufgabe kam. Andere Mechanismen sollten aber nicht ausgeschlossen werden. Veränderungswerte der Selbstberichte sind nicht unbedingt valide Prädiktoren zur Erklärung von zugrundeliegenden Mechanismen. So könnten andere Mechanismen der Fehlerverarbeitung, Aufmerksamkeit oder spezifische Emotionsregulationsmechanismen verantwortlich für die höhere Aktivität der späteren durch die Pe reflektierten Fehlerverarbeitung sein. Dies kann jedoch nicht mit den vorliegenden Daten überprüft werden.

Die Ergebnisse der Studie 2 weisen darauf hin, dass die Komponente Pe eher state-verwandt im Vergleich zur Ne/ERN ist, wie es von Larson und KollegInnen (2013) vorgeschlagen wurde. Die vorliegenden Daten können jedoch nicht die Frage beantworten, welche Funktion die Pe hat und ob sie, wie von Steinhauser und Yeung (2010) vorgeschlagen wurde, Prozesse der Evidenzakkumulation widerspiegelt. Im Gegensatz zu anderen Studien (wie Steinhauser & Yeung, 2010), konnte hier auch kein signifikanter Unterschied zwischen den Pe-Amplituden von entdeckten und nichtentdeckten Fehlern gefunden werden.

Trainingseffekte auf selbstberichtete Achtsamkeit. Probandinnen in beiden Trainingsgruppen berichteten gleichermaßen einen Anstieg der mit Fragebögen gemessenen Achtsamkeit, weshalb es nicht möglich ist zu interpretieren, ob verschiedene kognitive oder emotionale Mechanismen in unterschiedlicher Weise durch die verschiedenen Trainingsmethoden beeinflusst wurden. Das Achtsamkeitstraining scheint möglicherweise andere Aspekte als Trait Achtsamkeit zu verändern, so zum Beispiel aufmerksamkeitsbezogene Impulsivität gemessen mit dem BIS (Stanford et al. 2009). Interessanterweise kam es nämlich nur für die Probandinnen der Achtsamkeitsmeditationsgruppe zu einer Reduktion der Werte der aufmerksamkeitsbezogenen Impulsivität, welche die Unfähigkeit Aufmerksamkeit zu fokussieren reflektiert (Stanford et al. 2009). Leider konnten keine Zusammenhänge zwischen dem Veränderungswert dieser Eigenschaften mit Veränderungswerten auf Verhaltens- oder neuronaler Ebene gefunden werden.

Trainingseffekte auf Verhaltensdaten. Auf Verhaltensebene wurden in dieser Studie Reaktionszeiten, RTSD und verschiedene Verhaltensdaten bezüglich der Fehlerverarbeitung (post-error slowing, post-error performance, Gesamtfehlerrate, Entscheidungskriterium c und Sensitivität d') verwendet. Probandinnen, deren Achtsamkeit und emotionale Akzeptanz nach dem Training im Vergleich zu vor dem Training anstiegen, zeigten eine geringere Reduktion der Reaktionszeit. Sie zeigten jedoch ebenfalls eine stärkere, wenn auch nicht signifikante, Verringerung der Gesamtfehlerrate. Reaktionszeit könnte also ein wichtiger Indikator für mögliche Mechanismen steigender Achtsamkeit sein. Probandinnen, deren Achtsamkeit nach dem Training gestiegen war und deren Stresssymptome abgenommen hatten, waren bei der zweiten Bearbeitung der Simon-Aufgabe zwar nicht schneller bei richtigen Antworten, machten tendenziell aber auch weniger Fehler. Sie verbesserten sich also geringfügig in ihrer Leistung und waren bei der Bearbeitung der Aufgabe sowohl weniger gestresst als auch emotional akzeptierender. RTSD reduzierte sich nur tendenziell in Zusammenhang mit der Zunahme von

emotionaler Akzeptanz und Stressreduktion, post-error-slowness zeigte keinerlei Zusammenhang mit den Veränderungswerten der Selbstberichte.

Auch wenn Nullbefunde schwierig zu interpretieren sind, insbesondere da die Teststärke unbekannt ist, sind die Mechanismen der Performanzüberwachung indiziert durch Fehlerentdeckung und -verarbeitung entweder keine relevanten Faktoren eines effektiven Trainings von Achtsamkeitsmeditation oder das Training war nicht effektiv genug um andere Veränderungen als die selbstberichtete Stressreduktion nachweisen zu können. Die Ergebnisse der Studie weisen höchstens darauf hin, dass das Training mit Verbesserung von Aufmerksamkeits- und Emotionsregulationsprozessen verbunden ist, dies müsste in zukünftigen Studien jedoch differenzierter überprüft werden.

6.5 Einschränkungen und Ausblick

Die scheinbaren Vorteile der Studie 2 führten zu einer Einschränkung der Ergebnisse: Beide Gruppen, Achtsamkeitsmeditation und PMR, wie sie hier verwendet wurden, waren sich in der Instruktion des angeleiteten Entspannungstrainings sehr ähnlich. Die nicht vorhandenen Ergebnisse resultierten also möglicherweise aus der fehlenden Differenzierung der beiden Methoden um differenziert die Auswirkungen aufmerksamkeits- und emotionsbezogener Aspekte der Performanzüberwachung und Fehlerverarbeitung überprüfen zu können. Einzig die Reduktion der selbstberichteten aufmerksamkeitsbezogenen Impulsivität war nur in der Achtsamkeitsmeditationsgruppe sichtbar. Der Aspekt Fokussierte Aufmerksamkeit wurde möglicherweise in der Instruktion der Achtsamkeitsmeditation stärker betont. Da die Differenzierung der Instruktionen in dieser Studie nicht stark genug war, ist eine klarere Unterscheidung zwischen den Bedingungen in zukünftigen Studien notwendig. Eine zusätzliche nicht-aktive Kontrollgruppe sollte außerdem Informationen bezüglich des spezifischen Trainingseffekts der wiederholten Bearbeitung der Simon-Aufgabe und dem generellen Entspannungseffekt beider Trainingsmethoden bieten.

Ein weiteres Problem dieser Studie war, dass nicht genügend Falsche Alarme und unentdeckte Fehler evoziert werden konnten und es dadurch zu einem Verlust von auswertbaren Daten bezüglich Fehlerentdeckung kam. Eine schwierigere Fehlerentdeckungsaufgabe, in der Fehlerentdeckung jedoch noch möglich ist, könnte in zukünftigen Studien dieses Problem lösen.

Trainingsmethoden der Achtsamkeitsmeditation als Selbsthilfe anzubieten könnte ebenfalls problematisch sein, da keine Lehrperson verfügbar ist, wenn Komplikationen während des Trainings auftreten (Lindahl, Kaplan, Winget & Britton, 2014). Die Probandinnen dieser Studie berichteten keine Nebenwirkungen in ihren Antworten auf die wöchentliche E-Mail oder in den Protokollbögen. Auch die hohe Retentionsrate spricht dafür, dass die Probandinnen in dieser Studie zumindest keine schwerwiegenden Nebenwirkungen hatten, die sie dazu bewegt hätten die Studie abzubrechen. Eine systematische Untersuchung sowohl des Nutzens als auch der Nebenwirkungen von elektronisch angeleiteter versus von einer erfahrenen Lehrperson persönlich angeleiteter Achtsamkeitsmeditation könnte helfen, mehr über verschiedene beeinflussende Faktoren zu erfahren.

Eine weitere Einschränkung des Selbsthilfetrainings in einer experimentellen Studie ist die fehlende Kontrollmöglichkeit, ob die Probandinnen tatsächlich das Training durchgeführt hatten. Selbst wenn sie die Audiodateien in der angegebenen Gesamttrainingsdauer wahrhaftig abspielten, kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass sie in dieser Zeit wirklich saßen und das Training tatsächlich machten. Eine Verwendung von Kontrollmöglichkeiten durch beispielsweise der Erhebung von zusätzlichen physiologischen Daten während des Trainings könnte in zukünftigen Studien nützlich sein.

Schließlich ist darauf hinzuweisen, dass die Betrachtung der Effektgrößen und deren Einschätzung darauf schließen lassen können, dass es sehr wohl einige signifikante Effekte auf Fehlerverarbeitung durch das Training geben könnte, wenn die Anzahl der Teilnehmenden größer wäre und die Messung mit Hilfe des EEGs technisch einwandfrei verlaufen wäre.

7. Allgemeine Diskussion

Studie 1 und Studie 2 im Vergleich. Die Studie 1 dieser Arbeit ergab eine frühere Fehlerentdeckungsaktivität für Individuen mit hoher Trait Achtsamkeit und für solche mit niedriger Emotionaler Stabilität. Da hohe emotionale Stabilität oft einhergeht mit hoher Trait Achtsamkeit, war es notwendig, beide Eigenschaften mit in die Analysen aufzunehmen, um die sich gegenseitig aufhebenden Effekte sichtbar zu machen. Emotionale Stabilität sollte deshalb in zukünftigen Studien mit berücksichtigt werden. In der Studie 2 wurde das Ergebnis der Studie 1 erneut überprüft und konnte nicht repliziert werden. Dies könnte daran liegen, dass die Stichprobe nun kleiner war und die Anzahl Falscher Alarme nun nicht erreicht werden konnte. Die Stimulus-Präsentationsdauer wurde hier auch stabil auf 84 ms gehalten, statt den in der Studie 1 nach Blöcken randomisierten Präsentationsdauern von 67 ms und 84 ms. Es kam also eventuell zu einem Deckeneffekt der Fehlerentdeckung, was auch erkennbar wurde durch die geringe Anzahl von unentdeckten Fehlern von vielen Probandinnen. Die Stichprobe der Studie 2 war begrenzt auf Psychologie-Studentinnen, was die generelle externe Validität stark einschränkt. Nichtsdestotrotz zeigte die Studie 2, dass ein einfaches Selbsthilfetraining der Achtsamkeitsmeditation zu einer Stressreduktion führen kann, wovon Psychologie-Studentinnen des Bachelor-Studiums profitieren können.

Die Studie 2 hatte jedoch auch das Ziel, mögliche Komponenten und Mechanismen der Achtsamkeitsmeditation zu untersuchen, um besser erklären zu können, wie der Effekt der Stressreduktion zustande kommt. Eine differenziertere Erkenntnis über effektive Komponenten verschiedener Meditationstechniken ist zu erlangen, um das Nutzen bei verschiedenen Problemen, wie zum Beispiel Depression, Angststörung, Stress, chronischer Schmerz oder kardiovaskuläre Erkrankungen, zu maximieren (siehe auch Britton, 2013). In Studie 2 wurde deshalb untersucht, inwieweit Performanzüberwachung mit Stressreduktion der Probandinnen zusammenhängt. Dazu wurde insbesondere die Fehlerverarbeitung und Fehlerentdeckung untersucht, um auch bezüglich dieser Mechanismen weitere allgemeinspsychologische Erkenntnisse zu erlangen. Da jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den positiven Effekten des Entspannungstrainings und neurophysiologischen Komponenten der Fehlerverarbeitung gefunden werden konnten, können keine Schlüsse sowohl bezüglich der Wirkungsmechanismen des Achtsamkeitstrainings als auch bezüglich der Fehlerverarbeitungstheorien gezogen werden. Andere Wirkungsmechanismen, wie

Aufmerksamkeit und Emotionsregulation sollten als relevantere Faktoren der Achtsamkeit zukünftig berücksichtigt werden.

Verarbeitungsgeschwindigkeit. In früheren Studien gab es widersprüchliche Befunde bezüglich Achtsamkeit und Stabilität der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, gemessen durch Reaktionszeiten und RTSD (Robinson & Tamir, 2005). So fanden Schmertz, Anderson und Robins (2009) keinen Zusammenhang zwischen RTSD und Achtsamkeit als Trait. Sie verwendeten jedoch MAAS als Fragebogen zur Messung von Achtsamkeit, zu dem in dieser Studie auch kein Zusammenhang mit RTSD gefunden werden konnte. Interessanterweise führte Achtsamkeitstraining zu einer Verminderung der Reaktionszeit (Jha et al., 2007) und RTSD während Aufmerksamkeitstestungen (Lutz et al., 2009). Interpretiert wurden diese Befunde als Verbesserungen der Aufmerksamkeit im Arbeitsgedächtnis, besonders in der Informationsqualität (van Vugt & Jha, 2011). Wenn man den Befund des fehlenden Zusammenhangs zwischen MAAS und RTSD in Studie 1 als auch in der Studie von Schmertz und KollegInnen (2009) in Bezug setzt, könnte eventuell emotionale Stabilität der stärkere Prädiktor zur Vorhersage von RTSD sein und der Zusammenhang zu Achtsamkeit lediglich eine Scheinkorrelation. Um dies zu überprüfen wurde zusätzlich zu den oben genannten Ergebnissen in Studie 1 emotionale Stabilität mithilfe einer Partialkorrelation kontrolliert und der Zusammenhang zwischen FFA und RTSD verschwand ($r = -.15, p = .33$). In Studie 2 konnte ebenfalls kein Effekt des Achtsamkeitstrainings auf die RTSD gefunden werden. Das Achtsamkeitstraining von Lutz und KollegInnen (2009) könnte also zu einer Steigerung der emotionalen Stabilität geführt haben und damit die negativen Effekte geringer emotionaler Stabilität auf das Arbeitsgedächtnis und somit auf die RTSD reduziert haben (siehe Robinson & Tamir, 2005). Die Möglichkeit der Scheinkorrelation sollte in zukünftigen Studien berücksichtigt und überprüft werden.

7.1 Fehlerverarbeitung und Achtsamkeit

Fehlerentdeckungsfähigkeit. Die Verwendung des Fehlerentdeckungsparadigmas ermöglichte zwischen entdeckten und unentdeckten Fehlern, sowie entdeckten korrekten und Falscher Alarm-Durchgängen zu differenzieren. Nur wenige Studien untersuchten bisher die Fehlerverarbeitung von Falschen Alarmen (Hewig et al., 2011; Steinhauer & Yeung, 2010) und auch in Studie 2 konnten nicht genügend Falsche Alarme evoziert werden. Um verschiedene Qualitäten der Fehlerentdeckung zu bestimmen, wurden Parameter der Signalentdeckungstheorie als Indizes der Unsicherheit oder Sicherheit bei der

Entscheidungsfindung verwendet (Tanner & Swets, 1954; Green & Swets, 1966). Falsche Alarme reflektieren dabei eine fehlerhafte Antwort auf ein Nicht-Ziel, wenn das Entscheidungskriterium fälschlicherweise überschritten wurde. Dies steht in Kontrast zu einer Nicht-Antwort auf ein Ziel („miss“, hier ein unentdeckter Fehler). Unentdeckte Fehler und Falsche Alarme können nicht nur als fehlerhafte Entscheidungen gesehen werden, sondern sie repräsentieren auch Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung. Nach Steinhauser und Yeung (2010) sind Falsche Alarme Indikatoren für eine schlechte Fehlerevidenzakkumulation.

Vorherige Studien zeigten eine Diskrepanz zwischen Aufmerksamkeit, Performanz und Handlungskontrolle für ProbandInnen mit geringer emotionaler Stabilität, Depression oder Angststörungen (für eine Übersicht, siehe z.B. Veiel, 1997; Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007). So fanden Luu und KollegInnen (2000) für ProbandInnen mit hohem negativem Affekt ein geringeres, selbst berichtetes, Gewahrsein von Fehlern, was dafür sprechen könnte, dass eine geringe emotionale Stabilität mit schlechter Fehlerentdeckungsfähigkeit einhergeht. Außerdem hatten ProbandInnen, die mit Dysphorie diagnostiziert wurden, was im Zusammenhang mit geringer emotionaler Stabilität steht (Costa & McCrae, 1992; Watson & Clark, 1984), Schwierigkeiten ihre richtigen Durchgänge zu bewerten, sie hatten also mehr Falsche Alarme (Dunn, Dalgleish, Lawrence, & Ogilvie, 2007). Hohe Sensitivität d' (Fähigkeit zur Entscheidung zwischen korrekten und falschen Antworten) und eine geringe Falscher Alarm-Rate sind Indikatoren für eine gute Fehlerentdeckungsfähigkeit sind, es konnte jedoch kein Zusammenhang zu Trait Achtsamkeit oder Achtsamkeitstraining in den Studien 1 und 2 gefunden werden. Dies entspricht jedoch auch den Befunden von Wittmann und KollegInnen (2014) bezüglich Achtsamkeit. In zukünftigen Studien sollten ProbandInnen mit klinisch relevantem Ausmaß niedriger emotionaler Stabilität im Vergleich zu gesunden ProbandInnen untersucht werden, da der Effekt der Achtsamkeit auf die Fehlerentdeckungsfähigkeit möglicherweise nur bei besonders geringer emotionaler Stabilität auf Verhaltensebene beobachtbar wird.

Vago und Silbersweig (2012) argumentierten, dass Achtsamkeit die Berichtbarkeit des Gewahrseins von Objekten, wie z.B. Fehlern, nicht unbedingt verbessert, die nicht-bewussten Prozesse aber effizienter werden können. Dies passt zu den vorliegenden Ergebnissen, dass es weder einen Zusammenhang der Trait Achtsamkeit und der Fehlerentdeckungsrate gab, noch das Achtsamkeitstraining die berichtete Fehlerentdeckung verbesserte. Der Zusammenhang

von Trait Achtsamkeit und der früheren Aktivierung bezüglich Fehlerentdeckung unterstützt jedoch auch die Hypothese, dass nicht-bewusste Prozesse effizienter werden können.

Neuronale Aktivität der Fehlerverarbeitung. Wie bereits oben erwähnt, fanden Teper und Inzlicht (2012) generell höhere Ne/ERN-Amplituden für Meditierende im Vergleich zu Nicht-Meditierenden, während Larson und KollegInnen (2013) keinen Effekt auf die Ne/ERN-Amplituden nach einer Achtsamkeitsintervention bei Laien fanden. Im Vergleich dazu wurden in Studie 1 Laien in ihrem Ausmaß an Achtsamkeit als Trait getestet, unabhängig von ihren Erfahrungen in Meditation, und es konnte ein weiterer Einfluss von emotionaler Stabilität auf die Ne/ERN-Amplituden gefunden werden. In der Studie von Larson und KollegInnen (2013) könnte das Achtsamkeitstraining also auch zu einem Anstieg an emotionaler Stabilität und somit zu einem gegenteiligen, also aufhebenden Effekt auf die Ne/ERN-Amplituden geführt haben. Sie fanden jedoch geringere Pe-Amplituden bei fehlerhaften Durchgängen für die ProbandInnen der Meditationsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe, während hier in Studie 1 eine höhere emotionale Stabilität zu höheren Pe-Amplituden führte.

Die vorher genannten Effekte von individuellen Unterschieden in Aufmerksamkeitskapazität auf Ne/ERN-Amplituden-Unterschiede könnten ebenfalls durch unterschiedliche Level der Impulsivität (Ruchow et al., 2005) verursacht worden sein. Eine höhere Einbindung in die Aufgabe aufgrund von geringer Impulsivität und hoher Achtsamkeit könnte zu einer besseren Differenzierung von entdeckten und unentdeckten Fehlern in der frühen Fehlerverarbeitung führen. ProbandInnen mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) könnten deshalb eine interessante Stichprobe für zukünftige Studien der Wirkung von Achtsamkeit sein, da sie nicht nur niedrigere Ne/ERN-Amplituden, sondern auch höhere RTSD zeigten (Chang et al., 2009). Es wäre dabei interessant in dieser Stichprobe zu untersuchen, ob Achtsamkeitstraining nicht nur generelle Aufmerksamkeitsdefizite verbessert (Zylowska et al., 2008), sondern auch den Fehlerverarbeitungsprozess verändert. Teper und Inzlicht (2012) fanden keinen Unterschied in der Pe, was zu den vorliegenden Ergebnissen der Studie 1 passt. Der Befund von Larson und KollegInnen (2013) bezüglich geringerer Pe-Amplituden könnte auch als ein Entspannung- und Ermüdungseffekt (Murphy et al., 2006) bei den meditationsunerfahrenen ProbandInnen, die nur ein sehr kurzes Meditationstraining machten, interpretiert werden und es müsste überprüft werden, ob man mit Hilfe eines längeren Meditationstrainings dieses Ergebnis replizieren kann.

Weiterhin könnte es interessant sein, inwiefern Achtsamkeitstraining zu unterschiedlichen Effekten je nach Persönlichkeitseigenschaften der ProbandInnen führt, ob beispielsweise ProbandInnen mit niedriger emotionaler Stabilität auf das Training anders reagieren als ProbandInnen mit höherer emotionaler Stabilität.

Eine Mediatoranalyse von Teper und Inzlicht (2012) zeigte einen mittelbaren Effekt emotionaler Akzeptanz (beeinflusst durch die Meditationserfahrung) auf Stroop-Fehler. Die AutorInnen deuteten diesen Befund insofern, dass emotionale Regulation die exekutive Kontrolle beeinflusst und deshalb eine der Schlüsselkomponenten für den Effekt der Meditation auf exekutive Kontrolle ist. Außerdem ergab die Studie, dass Ne/ERN weniger von der Veränderung der verbesserten Aufmerksamkeit im jetzigen Moment abhängig war, sondern stärker mit emotionaler Akzeptanz korrelierte. Die Ne/ERN könnte also auch als affektive Komponente interpretiert werden. Diese Ergebnisse konnten in der vorliegenden Studie 2 nicht repliziert werden. Malinowski (2013) diskutiert die Ergebnisse von Teper und Inzlicht (2012) und argumentiert, dass die Emotionsregulationsfähigkeiten in Bezug auf Performanzüberwachung nur in Querschnittsuntersuchungen sichtbar werden, weil der emotionale Einfluss nur bei erstmaliger Bearbeitung von Aufgaben relevant ist und bei zweiter Bearbeitung nachlässt. Dies könnte erklären, weshalb in der vorliegenden Studie 1 ein Zusammenhang von Ne/ERN und Achtsamkeit gefunden werden konnte und die Veränderungswerte der Studie 2 nicht mit der Ne/ERN korrelierten. Um dies in späteren Studien genauer zu untersuchen, müsste emotionale Akzeptanz nicht über einen Fragebogen, sondern direkter mit Verhaltensbeobachtungen, erhoben werden. Offen bleibt bisher, ob die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien zu Ne/ERN und Pe aufgrund methodologischer Differenzen entstanden sind. Interessant für zukünftige Studien wäre deshalb die Betrachtung verschiedener Meditationsarten und verschiedener Fehler-evozierender Aufgaben mit Hilfe rigoroser Forschungsdesigns. Dabei könnte auch die Frage beantwortet werden, ob und, wenn ja, welche spezifischen Aspekte einer bestimmten Art von Meditation eine Veränderung in den mit unterschiedlichen Aufgaben gemessenen kognitiven Funktionen verursacht. Bei der Differenzierung von entdeckten und unentdeckten Fehlern sollte in zukünftigen Studien die Sicherheit der Entscheidung mit erhoben werden. So kann es sein, dass ProbandInnen mit hoher Achtsamkeit sicherere Entscheidungen getroffen haben weshalb es hier zu einer stärkeren Unterscheidung der Amplitudenhöhen der beiden Fehlerarten kam (Shalgi & Deouell, 2012).

7.2 Ausblick für zukünftige Meditationsforschung

Die Forschung der Effektivität von Achtsamkeit und Achtsamkeitsmeditation hat aktuell ihren bisherigen Höhepunkt erreicht. Dennoch gibt es große methodologische Schwierigkeiten, die nur selten problematisiert werden und denen durch rigorose Versuchsdesigns entgegengesteuert wird. Im Folgenden werden einige Vorschläge für zukünftige Meditationsforschung genannt.

Generell sollten Studien mindestens so durchgeführt werden, dass die AuswerterIn die Gruppenzugehörigkeit erst im Nachhinein erfährt. Doppelblinduntersuchungen sind zum Beispiel mit *Sham Meditation* (Schein-Meditation) als Vergleichstraining möglich, in denen die ProbandIn nicht erfährt, ob sie gerade meditiert oder nur scheinbar meditiert (Zeidan, Johnson, Gordon & Goolkasian, 2010). Außerdem ist bisher unbekannt, welche Trainingsdauer effektiv ist. Erst mit dieser Kenntnis können Trainingsinterventionen angemessen standardisiert werden.

Sollte man die Möglichkeit haben, während der Aufgaben ereigniskorrelierte Komponenten mit EEG zu messen, sollte man sich im Besonderen Ne/ERN, Pe, N2 und P3 anschauen. Auch die Beachtung von Deckeneffekten ist notwendig bei der Erstellung von Aufgaben und sollte in Pilotstudien vorher getestet werden. Es wäre zudem sinnvoll Fragebögen und andere Tests einzubeziehen, um multimodal Veränderungen zu messen: Achtsamkeit, Emotional Akzeptanz, Arbeitsgedächtnis, Stimmung, Persönlichkeitstests, Selbstregulationsfähigkeit, Verhalten (Essverhalten, zwischenmenschlicher Kontakt, Verhalten in Stresssituationen, usw.) und psychophysiologische Messungen von Stimmung und Erregung (Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz, etc.).

Fokussierte Aufmerksamkeit versus Offenes Monitoring. Das Meditationstraining sollte genau beschrieben und differenziert werden. Werden verschiedene Techniken vermischt, kann man nicht mehr schließen, welcher Aspekt des Trainings für einen möglichen Erfolg verantwortlich ist. Zur Beschreibung der verwendeten Technik kann ein Fragebogen verwendet werden, wie es von Lutz und KollegInnen (2007) vorgeschlagen wurde. In zukünftigen Studien wäre es interessant die zwei Aspekte der Achtsamkeit, emotionale Akzeptanz und Gewahrsein separat zu betrachten, indem verschiedene Meditationstechniken (siehe 3.1.1) verwendet werden, die entweder emotionale Akzeptanz fokussieren, wie Meditation des Offenen Monitoring, oder Gewahrsein fokussieren, wie Meditation der Fokussierten Aufmerksamkeit (Lutz et al., 2007).

Einfluss von Persönlichkeitsunterschieden. Es wäre sinnvoll zu untersuchen, inwiefern Achtsamkeitsmeditation zu unterschiedlichen Ergebnissen je nach Charakteristiken der ProbandInnen führt. So könnten ProbandInnen, die an Depression, Angststörungen oder anderen Störungsbildern oder Persönlichkeitseigenschaften, unterschiedlich auf ein Achtsamkeitstraining reagieren. Auswirkungen von Achtsamkeitstraining oder Zusammenhänge mit Trait Achtsamkeit können mit dem Ausmaß der Emotionalen Stabilität, wie die Studie 1 zeigen konnte, oder der Stärke der Probleme während der Baseline (Gallegos, Hoerger, Talbot, Moynihan & Duberstein, 2013) variieren. Um diese Effekte und Mechanismen zu untersuchen, sollte eine ähnliche Studie mit einer klinischen Population, also beispielsweise mit ProbandInnen, die an Depression leiden, im Vergleich zu einer gesunden Population durchgeführt werden. Die klinische Stichprobe würde dann geringere Ausprägungen emotionaler Stabilität und stärkere Symptome von Stress zu Beginn der Erhebung zeigen, so dass die Streubreiten der emotionalen Stabilität und des Stressausmaßes größer sind und somit ein Effekt verlässlicher gefunden werden kann. Systematische Forschung in diese Richtung können vielversprechend sein, um sowohl Erkenntnisse über Achtsamkeit als auch über Fehlerverarbeitung gewinnen zu können, aber auch um die verschiedenen Störungsbilder besser verstehen zu können.

Selbsthilfe versus Gruppentraining. Die Anwendung von Selbsthilfe mit Hilfe Smartphone-Applikationen als Trainingsmethode von Achtsamkeit ist vielversprechend für zukünftige Studien. Üblicherweise sind Studien, die die Effektivität von Achtsamkeitsmeditation messen, an hohe zeitlichen und finanzielle Kosten gebunden, denn die Machbarkeit wird dadurch erschwert, dass das Training von einer erfahrenen Lehrperson angeleitet werden muss und die ProbandInnen in mehrere Gruppen von je maximal 15 Teilnehmenden meistens für acht Wochen wöchentlich zusammenkommen. Außerdem haben die Gruppentreffen und eine meist mitfühlende Lehrperson zusätzliche vorteilhafte Effekte auf die ProbandInnen (Imel, Baldwin, Bonus, MacCoon, 2008), so dass dies mit den reinen Effekten der Achtsamkeitsmeditation konfundiert und die Ergebnisinterpretation erschwert. Bisher wurden diese Konfundierungen selten adressiert und sollten deshalb in zukünftigen Studien berücksichtigt werden. Eine Vergleichsstudie von Selbsthilfe via Smartphone-Applikation und Gruppentraining wie MBSR könnte wichtige Erkenntnisse liefern.

Achtsamkeit messen. Die Erhebung von Trait und State Achtsamkeit wurde bisher eher unkritisch durchgeführt, weshalb die Problematik in zukünftigen Studien stärker adressiert

werden muss. Ein anderer Ansatz zum Messen von Meditationseffekten wäre ein Messwiederholungsdesign, in dem Langzeitmeditierende im Zustand der Meditation und im neutralen Zustand verglichen werden. Ein Problem dabei ist, dass das aktive Bearbeiten von Aufgaben womöglich dazu führt, dass man den Meditationszustand verlässt, so dass nur passive Paradigmen möglich sind (zum Beispiel das Betrachten von emotional aufgeladenen Bildern). Außerdem können nur geringe Effekte erwartet werden, da Achtsamkeit sich von einem Zustand zu einem Trait entwickelt hat, so dass die Fähigkeit zur Achtsamkeit auch außerhalb der Meditation angewendet wird.

7.3 Fazit

Die Studie 1 dieser Arbeit ergab eine frühere Aktivierung hinsichtlich Fehlerentdeckung bei hoher Ausprägung der Trait Achtsamkeit. In der Studie 2 wurde deshalb untersucht, inwieweit bei Achtsamkeitstraining Fehlerverarbeitung und Performanzüberwachung verantwortlich für Stressreduktion sind. Da jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den positiven Effekten spezifisch für Achtsamkeitsmeditation hinsichtlich Stress und der Fehlerverarbeitung gefunden werden konnten, können weder Schlussfolgerungen sowohl bezüglich der Wirkungsmechanismen von Achtsamkeit als auch hinsichtlich der Fehlerverarbeitungstheorien gemacht werden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht verschiedener Modelle der Performanzüberwachung. Welche theoretischen Modelle Erklärungen für verschiedene neuronale Komponenten der Performanzüberwachung und für deren interindividuelle Unterschiede bieten, und dabei dopaminerge und/oder serotoninerge Einflüsse berücksichtigen, wird durch ein X indiziert. . 5

Tabelle 2: Mittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte) der Reaktionszeit und Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Antworthäufigkeit und Peak-Amplituden von Ne/ERN und Pe für die unterschiedlichen Antworttypen (N = 40). 57

Tabelle 3: Antworttyp (korrekter Durchgang vs. Fehler) x Entdeckung (entdeckt vs. unentdeckt) ALM mit den Kovariaten Emotionale Stabilität (ES) und Achtsamkeit (FFA) für die abhängigen Variablen Reaktionszeit (RT), Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Fehlernegativität (Ne/ERN) und Fehlerpositivität (Pe), N = 40. 59

Tabelle 4: Beta-Gewichte und ihre p-Werte der Regressionsanalysen von Achtsamkeit (FFA) und Emotionaler Stabilität und ihrer Interaktion als Prädiktoren des Entscheidungskriteriums c, Sensitivität d' und der Falschen Alarm Rate (N = 40). 60

Tabelle 5: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Fragebogen-Daten, Prä-(t1) und Post-Testwerte (t2), Korrelationskoeffizienten und p-Werte von t1 und von den Veränderungswerten (t2-t1) (in kursiv)..... 81

Tabelle 6: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte) der Fragebogen-Daten getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t1, t2), Veränderungswerte der Gruppen, Statistik der Veränderungswerte (p), Statistik für Gruppenvergleiche der Veränderungswerte (p, η^2) und Einschätzung der Effektgrößen nach Cohen (1988). 82

Tabelle 7: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Verhaltensdaten (post-error slowing, post-error performance, Entscheidungskriterium c, Sensitivität d', Gesamtfehlerrate) getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t1, t2), Veränderungswerte der Gruppen, Statistik der Veränderungswerte (p), Statistik für Gruppenvergleiche der Veränderungswerte (p, η^2) und Einschätzung der Effektgrößen nach Cohen (1988). 84

Tabelle 8: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Verhaltensdaten (Reaktionszeit, RT; Reaktionszeitvariabilität, RTSD) getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t1, t2) und nach Antwortart. 85

Tabelle 9: Gruppenmittelwerte (Standardfehler der Mittelwerte, SEM) der Peak-Amplituden (Ne/ERN Peak; Pe Peak) getrennt nach erster und zweiter Sitzung (t1, t2) und nach Antwortart. 87

Tabelle 10: Korrelationen (r und p-Werte) der Veränderungswerte (Δ_{t2-t1}) auf Ebene der Selbstberichte mit den Verhaltensveränderungen (Reaktionszeit, RT; Reaktionszeitvariabilität, RTSD) und Veränderungen der Pe-Peak-Amplitude (gemittelt über beide Fehlerarten und gemittelt über alle Antwortarten). 90

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Konflikt-Überwachung bei Stroop-Aufgabe mit Konflikt-Überwacher im anterioren cingulären Kortex (ACC) und Kontrollfunktion des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC), nach Carter und van Veen (2007, S. 368). 8
- Abbildung 2:** Modell der Konflikt-Überwachung bei der Flanker-Aufgabe, nach Yeung und KollegInnen (2004, S. 935). Hz steht für die Präsentation des Buchstaben H im Zentrum (z), Sz für S im Zentrum. Die Flanker-Buchstaben links (l) und rechts (r) werden jeweils mit Hr, Hl, Sr und Sl gekennzeichnet. 9
- Abbildung 3:** Akteur (auch Aufgabenmodul genannt) und Kritiker (auch Überwachungsmodul genannt) bei Bearbeitung der Flanker-Aufgabe, angelehnt an Holroyd und KollegInnen (2005, S. 173, S. 174 und S. 178). HT und ST sind die jeweiligen Target-Buchstaben H und S, H1, S1, H2 und S2 sind die jeweiligen Flanker-Buchstaben. L und R bezeichnen jeweils die Antwort mit der linken bzw. rechten Hand. AL und AR sind die Einheiten, die die Aufmerksamkeit mit der Antwort (Links bzw. Rechts) verknüpfen. 11
- Abbildung 4:** Predicted Response-Outcome, PRO-Modell, nach Alexander und Brown (2011, S. 1339). S ist dabei der aufgabenrelevante Stimulus, V ist die Vorhersage, δ ist das TD-Signal (Signal temporalen Unterschieds, temporal difference), was sich in eine positive (ω^P) und negative Komponente (ω^N) aufteilen lässt. r ist die beobachtete Antwort-Ergebnis-Kombination. t indiziert den jeweiligen Zeitschritt, i eine von möglichen Ergebnissen. 13
- Abbildung 5:** Integratives Modell, nach Zendehtrouh und KollegInnen (2014, S. 141). . 14
- Abbildung 6:** Liverpool-Modell zur Erklärung der Prozesse der Achtsamkeitspraxis, nach Malinowski (2013, S. 3). 36
- Abbildung 7:** Modell zur Erklärung der Fokussierten Aufmerksamkeitsmeditation, nach Hasenkamp und KollegInnen, (2012, S. 751). 38
- Abbildung 8:** Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell, nach Vago und Silbersweig (2012, S. 7). FPCN, fronto-parietal control network; FEF, frontal eye fields; DMPFC, dorsal-medial prefrontal cortex; AMPFC, anterior medial prefrontal cortex; VMPFC, ventromedial prefrontal cortex; PHG, parahippocampal gyrus; HF, hippocampal formation; RSP, retrosplenial cortex; PCC, posterior cingulate cortex; Dorsal ACC, dorsal anterior cingulate cortex; DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex; VLPFC, ventrolateral prefrontal cortex; TP, temporal pole, LTC, lateral temporal cortex; TPJ, temporoparietal junction; sPL, superior parietal lobe; pIPL, posterior inferior parietal lobe; aIPL, anterior inferior parietal lobe; nAcc, nucleus accumbens; VSP, ventrostriatal pallidum; dstriatum, dorsal

striatum; S1, primary somatosensory cortex; AIC, anterior insular cortex; PIC, posterior insular cortex; sgACC, subgenual anterior cingulate cortex; VMpo, ventromedial posterior nucleus; sc, superior colliculus; BLA, basolateral amygdala; CE, central nucleus. 39

Abbildung 9: Self-Awareness, -Regulation, and -Transcendence (S-ART)-Modell zur Erklärung des Prozesses bei Fokussierter Aufmerksamkeitsmeditation, nach Vago und Silbersweig (2012, S. 11). 41

Abbildung 10: Simon-Aufgabe. Die Aufgabe der ProbandIn war abhängig von der Farbe des Rahmens der Kästen. In der weißen Bedingung (obere Reihe, Position) sollte die ProbandIn auf die Position des Pfeiles reagieren (im rechten oder linken Kasten) unabhängig von der Richtung des Pfeils. In der cyan-blauen Bedingung (untere Reihe, Richtung) sollte die ProbandIn auf die Richtung des Pfeiles reagieren (entweder links: < oder rechts: >) und dabei die Position ignorieren. In der Richtungsbedingung erfolgte nach der Bearbeitung des Durchgangs eine Abfrage, ob der Durchgang richtig oder falsch bearbeitet wurde. 50

Abbildung 11: Hirnkartierungen für den mittleren Zeitbereich von 0 – 180 ms (Reaktionsbeginn bei 0 ms) nach Mediansplit (bei 2.79) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 19$) und niedrigen ($n = 21$) Werten der Achtsamkeit für entdeckte und unentdeckte Fehler, korrekte Durchgänge und Falsche Alarme. 54

Abbildung 12: Current Source Density-Verläufe des reaktionsbezogen gemittelten Ereigniskorrelierten Potentials an der a) FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) und b) Cz für entdeckte und unentdeckte Fehler, korrekte Durchgänge und Falsche Alarme. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen. 61

Abbildung 13: Mittlere Ne/ERN- und CRN-Amplitudendifferenzen (fettgedruckt) an der FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) für entdeckte minus unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge minus Falsche Alarme nach einem a) Mediansplit (bei 2.79) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 19$) und niedrigen ($n = 21$) Werten der Achtsamkeit und nach einem b) Mediansplit (bei 5.50) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 21$) und niedrigen ($n = 19$) Werten der Emotionalen Stabilität. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen. 63

Abbildung 14: Mittlere Pe-Amplituden an der Cz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) für unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge nach einem Mediansplit (bei 5.50) zwischen ProbandInnen mit hohen ($n = 21$) und niedrigen ($n = 19$) Werten der Emotionalen Stabilität. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen. 64

Abbildung 15: Hirnkartierungen für den mittleren Zeitbereich von 0 – 180 ms (Reaktionsbeginn bei 0 ms) getrennt nach Trainingsgruppe und Sitzung für entdeckte und unentdeckte Fehler und entdeckte richtige Durchgänge. 77

Abbildung 16: Interaktionsdiagramm des kleinen Effekts der Meditationsgruppe gegenüber der PMR-Gruppe bezüglich der Veränderung des Faktors Aufmerksamkeit auf der BIS-Skala. 83

Abbildung 17: Current Source Density-Verläufe des reaktionsbezogen gemittelten Ereigniskorrelierten Potentials an der a) FCz ($\mu\text{V}/\text{cm}^2$) und b) Cz für entdeckte und unentdeckte Fehler und korrekte Durchgänge. Verläufe getrennt nach Trainingsgruppe und Sitzung. Reaktionsbeginn bei 0 ms. Negativität ist nach oben abgetragen. 88

Literaturverzeichnis

- Alexander, W. H., & Brown, J. W. (2011). Medial prefrontal cortex as an action-outcome predictor. *Nature neuroscience*, *14*(10), 1338–1344. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/nn.2921>
- Baer, R. A., Smith, G. T., & Allen, K. B. (2004). Assessment of mindfulness by self-report: The Kentucky Inventory of Mindfulness Skills. *Assessment*, *11*(3), 191–206. doi:10.1177/1073191104268029
- Baer, R. A., Smith, G. T., Hopkins, J., Krietemeyer, J., & Toney, L. (2006). Using self-report assessment methods to explore facets of mindfulness. *Assessment*, *13*(1), 27–45. doi:10.1177/1073191105283504
- Baron Short, E., Kose, S., Mu, Q., Borckardt, J., Newberg, A., George, M. S., & Kozel, F. A. (2010). Regional brain activation during meditation shows time and practice effects: An exploratory fMRI study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *7*(1), 121–127. doi:10.1093/ecam/nem163
- Barratt, E. S. (1959). Anxiety and impulsiveness related to psychomotor efficiency. *Perceptual and Motor Skills*, *9*(3), 191–198. doi:10.2466/pms.1959.9.3.191
- Baskin, T. W., Tierney, S. C., Minami, T., & Wampold, B. E. (2003). Establishing specificity in psychotherapy: A meta-analysis of structural equivalence of placebo controls. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *71*(6), 973–979. doi:10.1037/0022-006X.71.6.973
- Benson, H., Beary, J. F., & Carol, M. P. (1974). The relaxation response. *Psychiatry: Journal for the Study of Interpersonal Processes*, *37*(1), 37–46.
- Bishop, S. R., Lau, M., Shapiro, S., Carlson, L., Anderson, N. D., Carmody, J., . . . Devins, G. (2004). Mindfulness: A proposed operational definition. *Clinical Psychology: Science and Practice*, *11*(3), 230–241. doi:10.1093/clipsy.bph077
- Black, D. (2014). American Mindfulness Research Association: Resources. Retrieved from <https://goamra.org/resources/>
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*(3), 624–652. doi:10.1037/0033-295X.108.3.624
- Botvinick, M. M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, *402*(6758), 179–181. doi:10.1038/46035
- Britton, W. B. (2013). Dismantling mindfulness: Contributions of attention vs. acceptance. Retrieved from <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01831362>
- Britton, W. B., Lindahl, J. R., Cahn, B. R., Davis, J. H., & Goldman, R. E. (2014). Awakening is not a metaphor: The effects of Buddhist meditation practices on basic wakefulness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1307*(1), 64–81. doi:10.1111/nyas.12279
- Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, *84*(4), 822–848. doi:10.1037/0022-3514.84.4.822
- Bstan-İdzin-rgya-mtsho. (1999). *Ethics for the new millennium*. New York: Riverhead Books.
- Buchheld, N. (2000). *Achtsamkeit in Vipassana-Meditation und Psychotherapie: Die Entwicklung des "Freiburger Fragebogens zur Achtsamkeit" (FFA)*. *Schriften zur Meditation und Meditationsforschung: Vol. 2*. Frankfurt/M.: Peter Lang.

- Buchheld, N., Grossman, P., & Walach, H. (2001). Measuring mindfulness in insight meditation (Vipassana) and meditation-based psychotherapy: The development of the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI). *Journal for Meditation and Meditation Research*, 1(1), 11–34.
- Buchheld, N., & Walach, H. (2002). Achtsamkeit in Vipassana-Meditation und Psychotherapie. Die Entwicklung des "Freiburger Fragebogens zur Achtsamkeit". *Zeitschrift für Klinische Psychologie, Psychiatrie und Psychotherapie*, 50(2), 153–172. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=pdx&AN=0153805&site=ehost-live>
- Buttenmüller, V., & Kleinknecht, N. (2001). *Validierung des Freiburger Fragebogens zur Achtsamkeit (FFA)*: Psychologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (unveröffentlichte Diplomarbeit).
- Cahn, B. R., & Polich, J. (2006). Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 132(2), 180–211. doi:10.1037/0033-2909.132.2.180
- Cardaciotto, L., Herbert, J. D., Forman, E. M., Moitra, E., & Farrow, V. (2008). The assessment of present-moment awareness and acceptance: The Philadelphia Mindfulness Scale. *Assessment*, 15(2), 204–223. doi:10.1177/1073191107311467
- Carter, C. S., & van Veen, V. (2007). Anterior cingulate cortex and conflict detection: An update of theory and data. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 367–379. doi:10.3758/CABN.7.4.367
- Chalmers, D. J. (1995). Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 2(3), 200–219.
- Chambers, R., Gullone, E., & Allen, N. B. (2009). Mindful emotion regulation: An integrative review. *Clinical Psychology Review*, 29(6), 560–572. doi:10.1016/j.cpr.2009.06.005
- Chambers, R., Lo, B. C. Y., & Allen, N. B. (2008). The impact of intensive mindfulness training on attentional control, cognitive style, and affect. *Cognitive Therapy and Research*, 32(3), 303–322. doi:10.1007/s10608-007-9119-0
- Chang, W.-P., Davies, P. L., & Gavin, W. J. (2009). Error monitoring in college students with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Psychophysiology*, 23(3), 113–125. doi:10.1027/0269-8803.23.3.113
- Christopher, M. S., Christopher, V., & Charoensuk, S. (2009). Assessing “Western” mindfulness among Thai Theravāda Buddhist monks. *Mental Health, Religion & Culture*, 12(3), 303–314. doi:10.1080/13674670802651487
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (rev. ed.)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coles, M. G. H., Scheffers, M. K., & Holroyd, C. B. (2001). Why is there an ERN/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing. *Biological Psychology*, 56(3), 173–189. doi:10.1016/S0301-0511(01)00076-X
- Conners, C. K., & Staff, M. H. (2000). Conners' Continuous Performance Test II (CPT II V. 5). *North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems Inc*, 1–16.
- Costa, P. T., & McCrae, R. R. (1992). Normal personality assessment in clinical practice: The NEO Personality Inventory. *Psychological Assessment*, 4(1), 5–13. doi:10.1037/1040-3590.4.1.5

- Danielmeier, C., & Ullsperger, M. (2011). Post-error adjustments. *Frontiers in Psychology*, 2. doi:10.3389/fpsyg.2011.00233
- Davidson, R. J., & Lutz, A. (2008). Buddha's brain: neuroplasticity and meditation. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(1), 176.
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204–211. doi:10.1016/j.tics.2006.03.007
- Dehaene, S., Posner, M. I., & Tucker, D. M. (1994). Localization of a neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 5(5), 303–305. doi:10.1111/j.1467-9280.1994.tb00630.x
- Devinsky, O., Morrell, M. J., & Vogt, B. A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain : a journal of neurology*, 118 (Pt 1), 279–306.
- Donkers, F. C., & van Boxtel, G. J. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and cognition*, 56(2), 165–176. doi:10.1016/j.bandc.2004.04.005
- Dreyfus, G. (2011). Is mindfulness present-centred and non-judgmental?: A discussion of the cognitive dimensions of mindfulness. *Contemporary Buddhism*, 12(1), 41–54. doi:10.1080/14639947.2011.564815
- Dunn, B. D., Dalgleish, T., Lawrence, A. D., & Ogilvie, A. D. (2007). The accuracy of self-monitoring and its relationship to self-focused attention in dysphoria and clinical depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(1), 1–15. doi:10.1037/t00741-000;
- Eisinga, R., Grotenhuis, M. t., & Pelzer, B. (2013). The reliability of a two-item scale: Pearson, Cronbach, or Spearman-Brown? *International journal of public health*, 58(4), 637–642. doi:10.1007/s00038-012-0416-3
- Endrass, T., Franke, C., & Kathmann, N. (2005). Error awareness in a saccade countermanding task. *Journal of Psychophysiology*, 19(4), 275–280. doi:10.1027/0269-8803.19.4.275
- Endrass, T., Reuter, B., & Kathmann, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: Aware and unaware errors in an antisaccade task. *European Journal of Neuroscience*, 26(6), 1714–1720. doi:10.1111/j.1460-9568.2007.05785.x
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336–353. doi:10.1037/1528-3542.7.2.336
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6), 447–455. doi:10.1016/0013-4694(91)90062-9
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biological Psychology*, 51(2-3), 87–107. doi:10.1016/S0301-0511(99)00031-9
- Fallgatter, A. J., Herrmann, M. J., Roemmler, J., Ehrlis, A.-C., Wagerer, A., Heidrich, A., . . . Lesch, K.-P. (2004). Allelic variation of serotonin transporter function modulates the brain electrical response for error processing. *Neuropsychopharmacology*, 29(8), 1506–1511. doi:10.1038/sj.npp.1300409

- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340–347. doi:10.1162/089892902317361886
- Folstein, J. R., & van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, *45*(1), 152–170. doi:10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x
- Ford, J. M. (1999). Schizophrenia: The broken P300 and beyond. *Psychophysiology*, *36*(6), 667–682. doi:10.1111/1469-8986.3660667
- Fox, N. A., Henderson, H. A., Marshall, P. J., Nichols, K. E., & Ghera, M. M. (2005). Behavioral inhibition: Linking biology and behavior within a developmental framework. *Annual Review of Psychology*, *56*(1), 235–262. doi:10.1146/annurev.psych.55.090902.141532
- Gallegos, A. M., Hoerger, M., Talbot, N. L., Moynihan, J. A., & Duberstein, P. R. (2013). Emotional benefits of mindfulness-based stress reduction in older adults: The moderating roles of age and depressive symptom severity. *Aging & mental health*, *17*(7), 823–829. doi:10.1080/13607863.2013.799118
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, *4*(6), 385–390. doi:10.1111/j.1467-9280.1993.tb00586.x
- Gehring, W. J., Himle, J., & Nisenson, L. G. (2000). Action-monitoring dysfunction in obsessive-compulsive disorder. *Psychological Science*, *11*(1), 1–6. doi:10.1111/1467-9280.00206
- Gibbons, H., Fritzsche, A.-S., Bienert, S., Armbrecht, A.-S., & Stahl, J. (2011). Percept-based and object-based error processing: An experimental dissociation of error-related negativity and error positivity. *Clinical Neurophysiology*, *122*(2), 299–310. doi:10.1016/j.clinph.2010.06.031
- Giluk, T. L. (2009). Mindfulness, Big Five personality, and affect: A meta-analysis. *Personality and Individual Differences*, *47*(8), 805–811. doi:10.1016/j.paid.2009.06.026
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York: Wiley & Sons, Inc.
- Grossman, P. (2008). On measuring mindfulness in psychosomatic and psychological research. *Journal of Psychosomatic Research*, *64*(4), 405–408. doi:10.1016/j.jpsychores.2008.02.001
- Grossman, P. (2011). Defining mindfulness by how poorly I think I pay attention during everyday awareness and other intractable problems for psychology's (re)invention of mindfulness: Comment on Brown et al. (2011). *Psychological Assessment*, *23*(4), 1034-40; discussion 1041-6. doi:10.1037/a0022713
- Gu, J., Strauss, C., Bond, R., & Cavanagh, K. How do mindfulness-based cognitive therapy and mindfulness-based stress reduction improve mental health and wellbeing? A systematic review and meta-analysis of mediation studies. *Clinical Psychology Review*. (0). doi:10.1016/j.cpr.2015.01.006
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2003). To err is autonomic: Error-related brain potentials, ANS activity, and post-error compensatory behavior. *Psychophysiology*, *40*(6), 895–903. doi:10.1111/1469-8986.00107

- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2004). Error-related psychophysiology and negative affect. *Neurocognitive mechanisms of performance monitoring and inhibitory control*, 56(2), 189–197. doi:10.1016/j.bandc.2003.11.001
- Hasenkamp, W., & Barsalou, L. W. (2012). Effects of meditation experience on functional connectivity of distributed brain networks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 38. doi:10.3389/fnhum.2012.00038
- Hasenkamp, W., Wilson-Mendenhall, C. D., Duncan, E., & Barsalou, L. W. (2012). Mind-wandering and attention during focused meditation: A fine-grained temporal analysis of fluctuating cognitive states. *NeuroImage*, 59(1), 750–760. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.07.008
- Heidenreich, T., & Michalak, J. (Eds.). (2004). *Achtsamkeit und Akzeptanz in der Psychotherapie: Ein Handbuch* (1st ed.). Tübingen: DGVT-Verlag.
- Hester, R., Foxe, J. J., Molholm, S., Shpaner, M., & Garavan, H. (2005). Neural mechanisms involved in error processing: A comparison of errors made with and without awareness. *NeuroImage*, 27(3), 602–608. doi:10.1016/j.neuroimage.2005.04.035
- Hewig, J., Coles, M. G. H., Trippe, R. H., Hecht, H., & Miltner, W. H. R. (2011). Dissociation of Pe and ERN/Ne in the conscious recognition of an error. *Psychophysiology*, 48(10), 1390–1396. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01209.x
- Höfling, V. (2010). *Methodologische und empirische Studien zur Validierung von Achtsamkeitsskalen*. Johann Wolfgang Goethe-Univ., Frankfurt/M. Retrieved from <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/20737>
- Hofmann, S. G., & Asmundson, G. J. G. (2008). Acceptance and mindfulness-based therapy: New wave or old hat? *Clinical Psychology Review*, 28(1), 1–16. doi:10.1016/j.cpr.2007.09.003
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679–709.
- Holroyd, C. B., Dien, J., & Coles, M. G. H. (1998). Error-related scalp potentials elicited by hand and foot movements: Evidence for an output-independent error-processing system in humans. *Neuroscience Letters*, 242(2), 65–68. doi:10.1016/S0304-3940(98)00035-4
- Holroyd, C. B., Yeung, N., Coles, M. G. H., & Cohen, J. D. (2005). A mechanism for error detection in speeded response time tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(2), 163–191. doi:10.1037/0096-3445.134.2.163
- Hölzel, B. K., Lazar, S. W., Gard, T., Schuman-Olivier, Z., Vago, D. R., & Ott, U. (2011). How does mindfulness meditation work? Proposing mechanisms of action from a conceptual and neural perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 6(6), 537–559. doi:10.1177/1745691611419671
- Hölzel, B. K., Ott, U., Gard, T., Hempel, H., Weygandt, M., Morgen, K., & Vaitl, D. (2007). Investigation of mindfulness meditation practitioners with voxel-based morphometry. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 55–61. doi:10.1093/scan/nsm038
- Imel, Z., Baldwin, S., Bonus, K., & MacCoon, D. (2008). Beyond the individual: Group effects in mindfulness-based stress reduction. *Psychotherapy research : journal of the Society for Psychotherapy Research*, 18(6), 735–742. doi:10.1080/10503300802326038
- Jasper, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10(2), 370–375. doi:10.1016/0013-4694(58)90053-1

- Jha, A. P., Krompinger, J., & Baime, M. J. (2007). Mindfulness training modifies subsystems of attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(2), 109–119. doi:10.3758/CABN.7.2.109
- John, O. P., & Srivastava, S. (1999). The big-five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality. Theory and research* (2nd ed., pp. 102–138). New York: Guilford Press.
- Kabat-Zinn, J. (1982). An outpatient program in behavioral medicine for chronic pain patients based on the practice of mindfulness meditation: Theoretical considerations and preliminary results. *General Hospital Psychiatry*, 4, 33–47. doi:10.1016/0163-8343(82)90026-3
- Kabat-Zinn, J. (1990). *Full catastrophe living: Using the wisdom of your body and mind to face stress, pain, and illness*. New York, N.Y.: Delacorte Press.
- Kaiser, J., Barker, R., Haenschel, C., Baldeweg, T., & Gruzelier, J. H. (1997). Hypnosis and event-related potential correlates of error processing in a Stroop-type paradigm: A test of the frontal hypothesis. *International Journal of Psychophysiology*, 27(3), 215–222. doi:10.1016/S0167-8760(97)00055-X
- Kohls, N., Sauer, S., & Walach, H. (2009). Facets of mindfulness – Results of an online study investigating the Freiburg mindfulness inventory. *Personality and Individual Differences*, 46(2), 224–230. doi:10.1016/j.paid.2008.10.009
- Krampen, G. (2006). *Änderungssensitive Symptomliste zu Entspannungserleben, Wohlbefinden, Beschwerden- und Problembelastungen (ASS-SYM)*. Göttingen: Hogrefe.
- Larson, M. J., Steffen, P. R., & Primosch, M. (2013). The impact of a brief mindfulness meditation intervention on cognitive control and error-related performance monitoring. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. doi:10.3389/fnhum.2013.00308
- Laureys, S. (2005). The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 556–559. doi:10.1016/j.tics.2005.10.010
- Lehrer, P. M. (1982). How to relax and how not to relax: A re-evaluation of the work of Edmund Jacobson—I. *Behaviour Research and Therapy*, 20(5), 417–428. doi:10.1016/0005-7967(82)90063-8
- Leung, Y., & Singhal, A. (2004). An examination of the relationship between Qigong meditation and personality. *Social Behavior and Personality: an international journal*, 32(4), 313–320. doi:10.2224/sbp.2004.32.4.313
- Lindahl, J. R., Kaplan, C. T., Winget, E. M., & Britton, W. B. (2014). A phenomenology of meditation-induced light experiences: Traditional Buddhist and neurobiological perspectives. *Frontiers in Psychology*, 4, 973. doi:10.3389/fpsyg.2013.00973
- Linehan, M. M. (1993). *Skills training manual for treating borderline personality disorder. Diagnosis and treatment of mental disorders*. New York, NY, US: Guilford Press.
- Lu, H., Song, Y., Xu, M., Wang, X., Li, X., & Liu, J. (2014). The brain structure correlates of individual differences in trait mindfulness: A voxel-based morphometry study. *Neuroscience*, 272, 21–28. doi:10.1016/j.neuroscience.2014.04.051
- Lutz, A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2007). Meditation and the neuroscience of consciousness: An introduction. In P. D. Zelazo, M. Moscovitch, & E. Thompson (Eds.), *The Cambridge handbook of consciousness* (pp. 497–549).
- Lutz, A., Slagter, H. A., Rawlings, N. B., Francis, A. D., Greischar, L. L., & Davidson, R. J. (2009). Mental training enhances attentional stability: Neural and behavioral evidence. *Journal of Neuroscience*, 29(42), 13418–13427. doi:10.1523/JNEUROSCI.1614-09.2009

- Luu, P., Collins, P., & Tucker, D. M. (2000). Mood, personality, and self-monitoring: Negative affect and emotionality in relation to frontal lobe mechanisms of error monitoring. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*(1), 43–60. doi:10.1037/0096-3445.129.1.43
- Machery, E. (2011). *Doing without concepts*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Maier, M. E., Pellegrino, G., & Steinhauser, M. (2012). Enhanced error-related negativity on flanker errors: Error expectancy or error significance? *Psychophysiology*, *49*(7), 899–908. doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01373.x
- Malinowski, P. (2013). Neural mechanisms of attentional control in mindfulness meditation. *Frontiers in Neuroscience*, *7*, 8. doi:10.3389/fnins.2013.00008
- Michalak, J., Heidenreich, T., Ströhle, G., & Nachtigall, C. (2008). Die deutsche Version der Mindful Attention and Awareness Scale (MAAS) Psychometrische Befunde zu einem Achtsamkeitsfragebogen. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, *37*(3), 200–208. doi:10.1026/1616-3443.37.3.200
- Miltner, W. H. R., Braun, C. H., & Coles, M. G. H. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a "generic" neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(6), 788–798. doi:10.1162/jocn.1997.9.6.788
- MindApps. (2013). Die Achtsamkeit App [Mobile application software]. Retrieved from <https://itunes.apple.com/de/app/die-achtsamkeit-app/id477125362?mt=8>
- Moore, A., Gruber, T., Deroose, J., & Malinowski, P. (2012). Regular, brief mindfulness meditation practice improves electrophysiological markers of attentional control. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. doi:10.3389/fnhum.2012.00018
- Moore, A., & Malinowski, P. (2009). Meditation, mindfulness and cognitive flexibility. *Consciousness and Cognition*, *18*(1), 176–186. doi:10.1016/j.concog.2008.12.008
- Moser, J. S., Hajcak, G., & Simons, R. F. (2005). The effects of fear on performance monitoring and attentional allocation. *Psychophysiology*, *42*(3), 261–268. doi:10.1111/j.1469-8986.2005.00290.x
- Muck, P. M., Hell, B., & Gosling, S. D. (2007). Construct validation of a short five-factor model instrument. A self-peer study on the German adaptation of the Ten-Item Personality Inventory (TIPI-G). *European Journal of Psychological Assessment*, *23*(3), 166–175. doi:10.1027/1015-5759.23.3.166
- Murphy, T. I., Richard, M., Masaki, H., & Segalowitz, S. J. (2006). The effect of sleepiness on performance monitoring: I know what I am doing, but do I care? *Journal of Sleep Research*, *15*(1), 15–21. doi:10.1111/j.1365-2869.2006.00503.x
- Näätänen, R., Gaillard, A. W., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta psychologica*, *42*(4), 313–329.
- Neumann, K. E. (1957). *Die Reden Gotama Buddhas : aus der mittleren Sammlung Majjhimanikāyo des Pāli-Kanons*. Artemis Verlag Zürich / Paul Zsolnay Verlag Wien.
- Nieuwenhuis, S., Holroyd, C. B., Mol, N., & Coles, M. G. H. (2004). Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: Origins and functional significance. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, *28*(4), 441–448. doi:10.1016/j.neubiorev.2004.05.003
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P. H., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence

- from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38(5), 752–760. doi:10.1111/1469-8986.3850752
- O'Connell, R. G., Bellgrove, M. A., Dockree, P. M., Lau, A., Hester, R., Garavan, H., . . . Robertson, I. H. (2009). The neural correlates of deficient error awareness in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuropsychologia*, 47(4), 1149–1159. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.011
- O'Connell, R. G., Dockree, P. M., Bellgrove, M. A., Kelly, S. P., Hester, R., Garavan, H., . . . Foxe, J. J. (2007). The role of cingulate cortex in the detection of errors with and without awareness: A high-density electrical mapping study. *European Journal of Neuroscience*, 25(8), 2571–2579. doi:10.1111/j.1460-9568.2007.05477.x
- Olvet, D. M., & Hajcak, G. (2009). The stability of error-related brain activity with increasing trials. *Psychophysiology*, 46(5), 957–961. doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00848.x
- Ortner, C. N. M., Kilner, S. J., & Zelazo, P. D. (2007). Mindfulness meditation and reduced emotional interference on a cognitive task. *Motivation and Emotion*, 31(4), 271–283. doi:10.1007/s11031-007-9076-7
- Overbeek, T. J., Nieuwenhuis, S., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Dissociable Components of Error Processing: On the functional significance of the Pe vis-à-vis the ERN/Ne. *Journal of Psychophysiology*, 19(4), 319–329. doi:10.1027/0269-8803.19.4.319
- Perrin, F., Pernier, J., Bertrand, O., & Echallier, J. F. (1989). Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 72(2), 184–187.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology*, 41(2), 103–146.
- Preuss, U. W., Rujescu, D., Giegling, I., Watzke, S., Koller, G., Zetzsche, T., . . . Möller, H. J. (2008). Psychometrische Evaluation der deutschsprachigen Version der Barratt-Impulsivness-Skala. *Der Nervenarzt*, 79(3), 305–319. doi:10.1007/s00115-007-2360-7
- Ragland, J. D., Turetsky, B. I., Gur, R. C., Gunning-Dixon, F., Turner, T., Schroeder, L., . . . Gur, R. E. (2002). Working memory for complex figures: An fMRI comparison of letter and fractal n-back tasks. *Neuropsychology*, 16(3), 370–379. doi:10.1037/0894-4105.16.3.370
- Ridderinkhof, K. R., Ramautar, J. R., & Wijnen, J. G. (2009). To PE or not to PE: A P3-like ERP component reflecting the processing of response errors. *Psychophysiology*, 46(3), 531–538. doi:10.1111/j.1469-8986.2009.00790.x
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443–447. doi:10.1126/science.1100301
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747–758.
- Robinson, M. D., & Tamir, M. (2005). Neuroticism as mental noise: A relation between neuroticism and reaction time standard deviations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89(1), 107–114. doi:10.1037/0022-3514.89.1.107
- Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome Jr., E. D., & Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of Consulting Psychology*, 20(5), 343. doi:10.1037/h0043220

- Ruchow, M., Spitzer, M., Grön, G., Grothe, J., & Kiefer, M. (2005). Error processing and impulsiveness in normals: Evidence from event-related potentials. *Cognitive Brain Research, 24*(2), 317–325. doi:10.1016/j.cogbrainres.2005.02.003
- Ruocco, A. C., & Direkoglu, E. (2013). Delineating the contributions of sustained attention and working memory to individual differences in mindfulness. *Personality and Individual Differences, 54*(2), 226–230. doi:10.1016/j.paid.2012.08.037
- Sauer, S., Walach, H., Schmidt, S., Hinterberger, T., Lynch, S., Büssing, A., & Kohls, N. (2012). Assessment of mindfulness: Review on state of the art. *Mindfulness, 4*(1), 3–17. doi:10.1007/s12671-012-0122-5
- Scheffers, M. K., & Coles, M. G. H. (2000). Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26*(1), 141–151. doi:10.1037/0096-1523.26.1.141
- Scheffers, M. K., Coles, M. G. H., Bernstein, P., Gehring, W. J., & Donchin, E. (1996). Event-related brain potentials and error-related processing: An analysis of incorrect responses to go and no-go stimuli. *Psychophysiology, 33*(1), 42–53. doi:10.1111/j.1469-8986.1996.tb02107.x
- Schmertz, S. K., Anderson, P. L., & Robins, D. L. (2009). The relation between self-report mindfulness and performance on tasks of sustained attention. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment, 31*(1), 60–66. doi:10.1007/s10862-008-9086-0
- Schwartz, G. E., Davidson, R. J., & Goleman, D. J. (1978). Patterning of cognitive and somatic processes in the self-regulation of anxiety: Effects of meditation versus exercise. *Psychosomatic Medicine, 40*(4). Retrieved from http://journals.lww.com/psychosomaticmedicine/Fulltext/1978/06000/Patterning_of_Cognitive_and_Somatic_Processes_in.4.aspx
- Segalowitz, S. J., & Dywan, J. (2009). Individual differences and developmental change in the ERN response: Implications for models of ACC function. *Psychological research, 73*(6), 857–870. doi:10.1007/s00426-008-0193-z
- Seiple, R. J. (2010). Does mindfulness meditation enhance attention? A randomized controlled trial. *Mindfulness, 1*(2), 121–130. doi:10.1007/s12671-010-0017-2
- Shalgi, S., & Deouell, L. Y. (2012). Is any awareness necessary for an Ne? *Frontiers in Human Neuroscience, 6*. doi:10.3389/fnhum.2012.00124
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology, 81*(1), 174–176. doi:10.1037/h0027448
- Simon-Thomas, E. R., & Knight, R. T. (2005). Affective and cognitive modulation of performance monitoring: Behavioral and ERP evidence. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 5*(3), 362–372. doi:10.3758/CABN.5.3.362
- Slagter, H. A., Davidson, R. J., & Lutz, A. (2011). Mental training as a tool in the neuroscientific study of brain and cognitive plasticity. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*, 17. doi:10.3389/fnhum.2011.00017
- Stahl, J., Acharki, M., Kresimon, M., Völler, F., & Gibbons, H. (2015). Perfect error processing: Perfectionism-related variations in action monitoring and error processing mechanisms. *International Journal of Psychophysiology, 97*(2), 153–162. doi:10.1016/j.ijpsycho.2015.06.002
- Stahl, J., & Gibbons, H. (2007). Dynamics of response-conflict monitoring and individual differences in response control and behavioral control: An electrophysiological

- investigation using a stop-signal task. *Clinical Neurophysiology*, *118*(3), 581–596. doi:10.1016/j.clinph.2006.10.023
- Stanford, M. S., Mathias, C. W., Dougherty, D. M., Lake, S. L., Anderson, N. E., & Patton, J. H. (2009). Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences*, *47*(5), 385–395. doi:10.1016/j.paid.2009.04.008
- Steinhauser, M., & Yeung, N. (2010). Decision processes in human performance monitoring. *The Journal of Neuroscience*, *30*(46), 15643–15653. doi:10.1523/JNEUROSCI.1899-10.2010
- Ströhle, G., Nachtigall, C., Michalak, J., & Heidenreich, T. (2010). Die Erfassung von Achtsamkeit als mehrdimensionales Konstrukt. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, *39*(1), 1–12. doi:10.1026/1616-3443/a000001
- Stroop, J. R. (1935/1992). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*(1), 15–23. doi:10.1037/0096-3445.121.1.15
- Stuss, D. T., Murphy, K. J., Binns, M. A., & Alexander, M. P. (2003). Staying on the job: The frontal lobes control individual performance variability. *Brain*, *126*(11), 2363–2380. doi:10.1093/brain/awg237
- Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine Learning*, *3*(1), 9–44. doi:10.1007/BF00115009
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, *150*(3700), 1187–1188. doi:10.1126/science.150.3700.1187
- Tang, Y.-Y., Lu, Q., Fan, M., Yang, Y., & Posner, M. I. (2012). Mechanisms of white matter changes induced by meditation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(26), 10570–10574. doi:10.1073/pnas.1207817109
- Tang, Y.-Y., Lu, Q., Feng, H., Tang, R., & Posner, M. I. (2015). Short-term meditation increases blood flow in anterior cingulate cortex and insula. *Frontiers in Psychology*, *6*. doi:10.3389/fpsyg.2015.00212
- Tang, Y.-Y., Ma, Y., Wang, J., Fan, Y., Feng, S., Lu, Q., . . . Posner, M. I. (2007). Short-term meditation training improves attention and self-regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(43), 17152–17156. doi:10.1073/pnas.0707678104
- Tanner, W. P., JR., & Swets, J. A. (1954). A decision-making theory of visual detection. *Psychological Review*, *61*(6), 401–409. doi:10.1037/h0058700
- Teasdale, J. D., Segal, Z. V., & Williams, J. M. G. (1995). How does cognitive therapy prevent depressive relapse and why should attentional control (mindfulness) training help? *Behaviour Research and Therapy*, *33*(1), 25–39. doi:10.1016/0005-7967(94)E0011-7
- Techniker Krankenkasse. (2013). *Progressive Muskelentspannung – Ausgeglichen durch den Alltag* [mp3]. Retrieved from <http://www.tk.de/tk/broschueren-und-mehr/cd-und-dvd/cd-progressive-muskelentspannung/49432>
- Teper, R., & Inzlicht, M. (2013). Meditation, mindfulness and executive control: The importance of emotional acceptance and brain-based performance monitoring. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(1), 85–92. doi:10.1093/scan/nss045
- Ullsperger, M., Harsay, H. A., Wessel, J. R., & Ridderinkhof, K. R. (2010). Conscious perception of errors and its relation to the anterior insula. *Brain Structure and Function*, *214*(5-6), 629–643. doi:10.1007/s00429-010-0261-1

- Vago, D. R., & Silbersweig, D. A. (2012). Self-awareness, self-regulation, and self-transcendence (S-ART): A framework for understanding the neurobiological mechanisms of mindfulness. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 296. doi:10.3389/fnhum.2012.00296
- van Veen, V., & Carter, C. S. (2002). The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies. *Physiology & Behavior*, *77*(4–5), 477–482. doi:10.1016/S0031-9384(02)00930-7
- van Vugt, M. K., & Jha, A. P. (2011). Investigating the impact of mindfulness meditation training on working memory: A mathematical modeling approach. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *11*(3), 344–353. doi:10.3758/s13415-011-0048-8
- Vasconcelos, A. G., Malloy-Diniz, L., & Correa, H. (2012). Systematic review of psychometric properties of Barratt Impulsiveness Scale Version 11 (BIS-11). *Clinical Neuropsychiatry: Journal of Treatment Evaluation*, *9*(2), 61–74. Retrieved from http://www.clinicalneuropsychiatry.org/pdf/01_vasconcelos.pdf
- Veiel, H. O. F. (1997). A preliminary profile of neuropsychological deficits associated with major depression. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *19*(4), 587–603. doi:10.1080/01688639708403745
- Vibe, M. de, Solhaug, I., Tyssen, R., Friberg, O., Rosenvinge, J. H., Sørli, T., . . . Bjørndal, A. (2015). Does personality moderate the effects of mindfulness training for medical and psychology students? *Mindfulness*, *6*(2), 281–289. doi:10.1007/s12671-013-0258-y
- Vidal, F., Hasbroucq, T., Grapperon, J., & Bonnet, M. (2000). Is the 'error negativity' specific to errors? *Biological Psychology*, *51*(2-3), 109–128.
- Vocat, R., Pourtois, G., & Vuilleumier, P. (2008). Unavoidable errors: A spatio-temporal analysis of time-course and neural sources of evoked potentials associated with error processing in a speeded task. *Neuropsychologia*, *46*(10), 2545–2555. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.006
- Wahbeh, H., Svalina, M. N., & Oken, B. S. (2014). Group, one-on-one, or internet? Preferences for mindfulness meditation delivery format and their predictors. *Open Medicine Journal*, *1*(1), 66–74. doi:10.2174/1874220301401010066
- Walach, H., Buchheld, N., Buttenmüller, V., Kleinknecht, N., Grossman, P., & Schmidt, S. (2004). Empirische Erfassung der Achtsamkeit – Die Konstruktion des Freiburger Fragebogens zur Achtsamkeit (FFA) und weitere Validierungsstudien. In T. Heidenreich & J. Michalak (Eds.), *Achtsamkeit und Akzeptanz in der Psychotherapie. Ein Handbuch* (1st ed., pp. 727–770). Tübingen: DGVT-Verlag.
- Walach, H., Buchheld, N., Buttenmüller, V., Kleinknecht, N., & Schmidt, S. (2006). Measuring mindfulness—the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI). *Personality and Individual Differences*, *40*(8), 1543–1555. doi:10.1016/j.paid.2005.11.025
- Watson, D., & Clark, L. A. (1984). Negative affectivity: The disposition to experience aversive emotional states. *Psychological Bulletin*, *96*(3), 465–490. doi:10.1037/0033-2909.96.3.465
- Way, B. M., Creswell, J. D., Eisenberger, N. I., & Lieberman, M. D. (2010). Dispositional mindfulness and depressive symptomatology: Correlations with limbic and self-referential neural activity during rest. *Emotion*, *10*(1), 12–24. doi:10.1037/a0018312
- Weinberg, A., Riesel, A., & Hajcak, G. (2012). Integrating multiple perspectives on error-related brain activity: The ERN as a neural indicator of trait defensive reactivity. *Motivation and Emotion*, *36*(1), 84–100. doi:10.1007/s11031-011-9269-y

- Wenk-Sormaz, H. (2005). Meditation can reduce habitual responding. *Alternative therapies in health and medicine*, *11*(2), 42–58.
- Wessel, J. R. (2012). Error awareness and the error-related negativity: Evaluating the first decade of evidence. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. doi:10.3389/fnhum.2012.00088
- West, R., & Travers, S. (2008). Tracking the temporal dynamics of updating cognitive control: An examination of error processing. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1112–1124. doi:10.1093/cercor/bhm142
- Wittmann, M., Peter, J., Gutina, O., Otten, S., Kohls, N., & Meissner, K. (2014). Individual differences in self-attributed mindfulness levels are related to the experience of time and cognitive self-control. *Personality and Individual Differences*, *64*, 41–45. doi:10.1016/j.paid.2014.02.011
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*(4), 931–959. doi:10.1037/0033-295X.111.4.931
- Zeidan, F., Johnson, S. K., Gordon, N. S., & Goolkasian, P. (2010). Effects of brief and sham mindfulness meditation on mood and cardiovascular variables. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *16*(8), 867–873. doi:10.1089/acm.2009.0321
- Zendehrouh, S., Gharibzadeh, S., & Towhidkhah, F. (2014). Reinforcement-conflict based control: An integrative model of error detection in anterior cingulate cortex. *Neurocomputing*, *123*, 140–149. doi:10.1016/j.neucom.2013.06.020
- Zylowska, L., Ackerman, D. L., Yang, M. H., Futrell, J. L., Horton, N. L., Hale, T. S., . . . Smalley, S. L. (2008). Mindfulness meditation training in adults and adolescents with ADHD: A feasibility study. *Journal of Attention Disorders*, *11*(6), 737–746. doi:10.1177/1087054707308502

Anhang A: Untersuchungsmaterialien

A.1 Übersetzter Fragebogen: PHLMS

Bitte kreuzen Sie an, wie oft Sie die folgenden Aussagen innerhalb der *letzten Woche* erlebt haben.

	nie	selten	manchmal	oft	sehr oft
1. Ich bin mir bewusst, welche Gedanken durch meinen Kopf gehen.	1	2	3	4	5
2. Ich versuche mich abzulenken, wenn ich unangenehme Emotionen empfinde.	1	2	3	4	5
3. Wenn ich mich mit anderen Personen unterhalte, sind mir deren Gesichts- und Körperausdruck bewusst.	1	2	3	4	5
4. Es gibt Aspekte meines Selbst, über die ich nicht nachdenken will.	1	2	3	4	5
5. Wenn ich dusche, nehme ich wahr, wie das Wasser über meinen Körper fließt.	1	2	3	4	5
6. Ich versuche beschäftigt zu bleiben, um Gedanken und Gefühle aus meinem Bewusstsein fernzuhalten.	1	2	3	4	5
7. Wenn ich mich erschrecke, bemerke ich, was in meinem Körper vorgeht.	1	2	3	4	5
8. Ich wünschte, ich könnte meine Emotionen leichter kontrollieren.	1	2	3	4	5
9. Wenn ich draußen spaziere, sind mir Gerüche oder wie sich die Luft auf meinem Gesicht anfühlt bewusst.	1	2	3	4	5
10. Ich sage mir, dass ich bestimmte Gedanken nicht haben sollte.	1	2	3	4	5
11. Wenn mich jemand fragt, wie ich mich gerade fühle, kann ich meine Emotionen leicht identifizieren.	1	2	3	4	5
12. Es gibt Dinge, über die ich nicht nachzudenken versuche.	1	2	3	4	5
13. Ich bin mir derjenigen Gedanken bewusst, die ich habe, wenn sich meine Stimmung verändert.	1	2	3	4	5

14. Ich sage mir selbst, dass ich mich nicht traurig fühlen sollte.	1	2	3	4	5
15. Ich bemerke Veränderungen in meinem Körper, wie schnellerer Herzschlag oder Anspannung meiner Muskeln.	1	2	3	4	5
16. Wenn es etwas gibt, über das ich nicht nachdenken will, versuche ich viele Dinge, um den Gedanken aus meinem Kopf zu bekommen.	1	2	3	4	5
17. Wann immer meine Gefühle sich verändern, bin ich mir derer sofort bewusst.	1	2	3	4	5
18. Ich versuche, meine Probleme aus dem Kopf zu bekommen.	1	2	3	4	5
19. Wenn ich mich mit anderen Personen unterhalte, bin ich mir der Emotionen bewusst, die ich erlebe.	1	2	3	4	5
20. Wenn ich eine schlechte Erinnerung habe, versuche ich mich abzulenken, damit sie vergeht.	1	2	3	4	5

A.2 Übungsbuch für Achtsamkeitsmeditation und PMR

Mein Übungsbuch zum Erlernen einer Entspannungstechnik: Meditation

Vp-Nr.: ____

Liebe Teilnehmerin,

um Dir das Üben der Entspannungstechnik leichter zu machen, haben wir Dir ein kleines Tagebuch zusammengestellt, welches Dich in den nächsten Wochen begleiten soll.

Du findest darin:

- eine Anleitung zum Vorbereiten der Übung
- einen Protokollbogen für deinen Übungsverlauf
- Platz für Bemerkungen

Wir wünschen Dir viel Spaß beim Üben!

Vorbereitung zur Entspannung

Um Dich bestmöglich entspannen zu können, ist es hilfreich, einige Vorbereitungen zu treffen.

- Wähle zum Üben eine Zeit und einen Ort aus, an dem Du dich sicher und wohl fühlst und Du dir sicher bist, dass Dich die nächste Zeit niemand stören wird (Handy auf Flugzeugmodus).
- Überprüfe, ob Du zur Toilette musst.
- Achte auf bequeme Kleidung, nichts sollte Dich einengen oder abdrücken (Du kannst z.B. den Gürtel lockern oder einen Knopf öffnen). Bitte ggf. die Brille und eventuell störenden Schmuck (Uhren, Ringe, Ohrschmuck, enge Ketten, Halsbänder etc.) für die Dauer der Übung ablegen.
- Achte auf eine Dir angenehme Raumtemperatur.
- Lege Dein Smartphone in Reichweite und öffne die App. Achte darauf, dass die Lautstärke der Stimme des Sprechers weder zu leise noch zu laut ist.
- Zur Sitz- oder Liegeposition achte bitte darauf, was der Sprecher Dir vorschlägt:
 - *Üben im Liegen:* dicke Socken, eine Decke und ein flaches Kissen sowie eine geeignete Unterlage (z.B. Isomatte, Sportmatte, dicker Teppich)
 - *Üben im Sitzen:* Stuhl mit Rückenlehne, dicke Socken
 - *Üben im freien Sitzen:* Unterlage, Kissen, dicke Socken

Ist alles ok und vorbereitet, dann ...

- nimm eine bequeme Haltung ein, sei ganz locker und mache Dir bewusst, wie Du da sitzt/liegst.
- stelle Dich bevor Du startest mental auf die bevorstehende Übung ein.
- Starte nun Deine App.
- Die Rücknahme wird erläutert.
- Starte Deine Übung.

Achtsamkeits-App

Meditation

- *Willkommen* (2 Min.): Einleitung– Bitte zu Beginn anhören.
- *Ankommen und Zentrieren* (2 Min.): Dient zur Findung einer geeigneten Sitzposition – Bitte mindestens die ersten Male, am besten immer, zu Beginn der Entspannungszeit anhören.
- *Geführte Meditation* (3 Min.): Vielleicht kannst Du Dir auch direkt 5 Min. Zeit nehmen?
- *Geführte Meditation* (5 Min.): Wenn Du nur kurz Zeit hast, wähle diese Meditation.
- *Geführte Meditation* (15 Min.): Diese Meditation ist am besten geeignet, wenn Du nicht 30 Min. am Stück Zeit hast. Führe diese Meditation zumindest in den ersten Wochen mindestens zweimal täglich durch. Später kannst Du Dir überlegen, ob Du „Stille Meditation mit Klängen“ bevorzugen möchtest.
- *Geführte Meditation* (30 Min.): Wenn Du viel Zeit hast und wirklich intensiv dieses Entspannungstraining üben möchtest, ist diese Meditation am besten. Zweimal am Tag ist diese dann optimal durchzuführen.
- *Stille Meditation mit Klängen* (3, 5, 15 oder 30 Min.): Diese Meditationen werden durch einen Klang eingeleitet und müssen dann selbstständig durchgeführt werden. Zwischendurch ertönt ein Klang, damit die Aufmerksamkeit wieder in das Jetzt geholt werden kann, sollte man abschweifen. Es ist also sinnvoll, diese nur durchzuführen, wenn Du die geführten Meditationen bereits oft gehört hast und lieber „in Ruhe“ meditieren möchtest.
- *Achtsamkeitsmitteilungen*: Musst Du nicht verwenden, aber wenn Dir das gefällt, mach ruhig!
- *Eigene Meditation*: Nur sinnvoll in der letzten Phase Deines Trainings, wenn Du Dich wirklich schon fit fühlst, das selbst zu bestimmen, welche Intervalle und Länge am besten für Dich sind.

Erinnerung

Am sinnvollsten ist es, dass Du für Dich einen bestimmten Zeitpunkt morgens und einen abends festlegst, an dem Du regelmäßig Dein Entspannungstraining übst. Hier kannst Du genau festlegen, um wie viel Uhr welche Meditation durchgeführt werden soll. Man kann auch eine eigene Meditation bestimmen (Länge der Meditation und Intervall der Klänge bestimmbar).

Statistik

Die Statistik zeigt an, wie oft und wie lange Du bereits meditiert hast. Dennoch ist es wichtig, das Entspannungstagebuch zu führen, da wir so eine genauere Angabe der Zeitpunkte etc. erhalten.

Einstellung

Unter Einstellung kannst Du z.B. den Bildschirm und die Klänge in der geführten Meditation an- und ausschalten und einen Erinnerungstext eingeben.

Mehr

Hier findest Du einige Informationen, die Du Dir sehr gerne durchlesen kannst. Wir stehen dabei in keiner Verbindung mit den Anbietern der Achtsamkeit-Kurse.

Woche	Tageszeit	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Beurteilung der Übungshäufigkeit und neu auftretende Empfindungen und	Vorsätze für die kommende Woche
3	morgens									
	mittags									
	abends									
4	morgens									
	mittags									
	abends									

Bitte trage die Uhrzeit ein, wann Du geübt hast, und ob Du die kurze Version (KV, ca. 15 Min.) oder lange Version (LV, ca. 30Min) durchgeführt hast. Wir empfehlen Dir 2-3 mal tägliches Üben.

Notiere kurz den Übungserfolg und gebe ggf. Schwierigkeiten an. Formuliere Vorsätze (Verbesserungsvorschläge) für die kommende Trainingswoche. Viel Spaß beim Üben!

Weiterer Platz für Bemerkungen

Mein Übungsbuch zum Erlernen einer Entspannungstechnik: PMR

Vp-Nr.: ____

Liebe Teilnehmerin,

um Dir das Üben der Entspannungstechnik leichter zu machen, haben wir Dir ein kleines Tagebuch zusammengestellt, welches Dich in den nächsten Wochen begleiten soll.

Du findest darin:

- eine Anleitung zum Vorbereiten der Übung
- einen Protokollbogen für deinen Übungsverlauf
- Platz für Bemerkungen

Wir wünschen Dir viel Spaß beim Üben!

Vorbereitung zur Entspannung

Um Dich bestmöglich entspannen zu können, ist es hilfreich, einige Vorbereitungen zu treffen.

- Wähle zum Üben eine Zeit und einen Ort aus, an dem Du dich sicher und wohl fühlst und Du dir sicher bist, dass Dich die nächste Zeit niemand stören wird (Handy auf Flugzeugmodus).
- Überprüfe, ob Du zur Toilette musst.
- Achte auf bequeme Kleidung, nichts sollte Dich einengen oder abdrücken (Du kannst z.B. den Gürtel lockern oder einen Knopf öffnen). Bitte ggf. die Brille und eventuell störenden Schmuck (Uhren, Ringe, Ohrschmuck, enge Ketten, Halsbänder etc.) für die Dauer der Übung ablegen.
- Achte auf eine Dir angenehme Raumtemperatur.
- Lege Dein Smartphone in Reichweite und öffne die App. Achte darauf, dass die Lautstärke der Stimme des Sprechers weder zu leise noch zu laut ist.
- Zur Sitz- oder Liegeposition achte bitte darauf, was der Sprecher Dir vorschlägt:
 - *Üben im Liegen:* dicke Socken, eine Decke und ein flaches Kissen sowie eine geeignete Unterlage (z.B. Isomatte, Sportmatte, dicker Teppich)
 - *Üben im Sitzen:* Stuhl mit Rückenlehne, dicke Socken
 - *Üben im freien Sitzen:* Unterlage, Kissen, dicke Socken

Ist alles ok und vorbereitet, dann ...

- nimm eine bequeme Haltung ein, sei ganz locker und mache Dir bewusst, wie Du da sitzt/liegst.
- stelle Dich bevor Du startest mental auf die bevorstehende Übung ein.
- Starte nun Deine App.
- Die Rücknahme wird erläutert.
- Starte Deine Übung.

Progressive Muskelentspannung (PMR)

Diese Audiodatei soll Dir helfen, Dich bewusst entspannen zu lernen. Wir befinden uns nahezu ständig unter Einfluss von Außenreizen und reagieren auf sie. Dabei vernachlässigen wir zumeist uns und nehmen unsere Befindlichkeiten (oft Anspannungen) nicht wahr. Indem wir unsere Aufmerksamkeit von Zeit zu Zeit nach „innen“ richten, gehen wir wieder bewusster mit uns um.

Durch die systematische Schulung der Selbstaufmerksamkeit sensibilisiert Dich die Progressive Muskelentspannung für das Zusammenspiel von Muskeltonus, Lebensgefühl und Gedankenwelt und stärkt so die Fähigkeit, eigenverantwortlich zu mehr innerer Ruhe sowie seelischer und körperlicher Ausgeglichenheit zu gelangen. Die Progressive Muskelrelaxation ist eine alltagstaugliche Methode zur Stressbewältigung und ein Weg zur Schulung Deiner Selbstaufmerksamkeit.

Vorschläge für die Praxis

- Als Anfänger übst Du am sinnvollsten die Langversion in der ersten Woche zweimal täglich, sie stellt die Basis dar. Ab der zweiten Woche kannst Du frei wählen welche Version Du nehmen möchtest und wie häufig oder wie intensiv Du Dich entspannen möchtest. Du solltest Dir zweimal am Tag Zeit für eine Übungssequenz nehmen.
- *Langversion (32:37 Min.): Ausführliche Anleitung und Training der einzelnen Muskelgruppen.* Wenn Du viel Zeit hast und wirklich intensiv dieses Entspannungstraining üben möchtest, ist diese Übung am besten. Zweimal am Tag ist diese dann optimal durchzuführen.
- *Kurzversion (17:57 Min.): Anleitung für zusammengefasste Muskelgruppen.* Diese Übung ist am besten geeignet, wenn Du nicht 30 Min. am Stück Zeit hast. Führe diese Übung mindestens zweimal täglich durch.
- Beide Versionen verfügen über eine ähnliche Struktur:
 - Willkommensteil (hier werden Übungshaltung und die Übung erklärt)
 - Ruhetönung (Ankommen und in den Entspannungsmodus kommen)
 - Übungsteil (entsprechende Muskeln werden an- und entspannt)
 - Vertiefung
 - Rücknahme

Erinnerung

Am sinnvollsten ist es, dass Du für Dich einen bestimmten Zeitpunkt morgens und einen abends festlegst, an dem Du regelmäßig Dein Entspannungstraining übst. Dazu kannst Du Dir in Deinem Smartphone einen Wecker stellen, mit dem Du genau festlegst, um wie viel Uhr welche Übung durchgeführt werden soll.

Statistik

Bitte führe das Entspannungstagebuch sorgfältig, da wir so wichtige Daten für unsere Untersuchung erhalten.

Über PMR

Die Progressive Muskelrelaxation (PMR) ist ein Entspannungsverfahren, das an der Willkürmuskulatur ansetzt. Relaxation steht für Entspannung. Progressiv bedeutet, dass der Entspannungszustand Schritt für Schritt aufgebaut wird. Durch die Entspannung der Willkürmuskulatur werden ein tiefgreifendes körperliches Ruhegefühl und dadurch eine mentale Gelassenheit erreicht.

Die PMR-Audiodateien leiten Dich dazu an, nacheinander verschiedene Muskelgruppen deutlich spürbar anzuspannen und zu entspannen. Als Übende konzentrierst Du Dich auf den Kontrast der Anspannungs- und Entspannungsempfindungen. Damit hat Deine innere Wahrnehmung stärkere Reize, um Ihre Aufmerksamkeit zu binden und die Alltagsgedanken hinter sich zu lassen. Nach der muskulären Anspannung folgen die körperliche und damit einhergehend auch die mentale Entspannung.

Die Progressive Muskelentspannung (PMR) nach Edmund Jacobson ist seit 1987 Bestandteil der psychosomatischen Grundversorgung in allen gesetzlichen und privaten Krankenkassen.

Wichtiges Element jedes Übungsschrittes ist die bewusste Wahrnehmung aller Körperempfindungen, die durch die Kontraktion entstehen. Durch dieses intensive „Hineinspüren“ in die Muskulatur wird ein neues Körperbewusstsein entwickelt. Nach und nach lernt man so, Anspannungen schon in der Entstehungsphase wahrzunehmen und ihnen dann aktiv durch PMR entgegenzuwirken.

Woche	Tageszeit	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Beurteilung der Übungshäufigkeit und neu auftretende Empfindungen und	Vorsätze für die kommende Woche
3	morgens									
	mittags									
	abends									
4	morgens									
	mittags									
	abends									

Bitte trage die Uhrzeit ein, wann Du geübt hast, und ob Du die kurze Version (KV, ca. 15 Min.) oder lange Version (LV, ca. 30Min) durchgeführt hast. Wir empfehlen Dir 2-3 mal tägliches Üben.

Notiere kurz den Übungserfolg und gebe ggf. Schwierigkeiten an. Formuliere Vorsätze (Verbesserungsvorschläge) für die kommende Trainingswoche. Viel Spaß beim Üben!

Weiterer Platz für Bemerkungen

Anhang B: Statistische Auswertungen

Anhang: Tabelle 1: Studie 1: Antworttyp (Korrekt vs. Fehler) x Entdeckung (entdeckt vs. unentdeckt) ALM mit den Kovariaten Emotionale Stabilität (ES) und Achtsamkeit (MAAS) für die abhängigen Variablen Reaktionszeit (RT), Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Fehlernegativität (Ne/ERN) und Fehlerpositivität (Pe) (N = 40)..... 138

Anhang: Tabelle 2: Studie 1: Beta-Gewichte und ihre p-Werte der Regressionsanalysen von Achtsamkeit (MAAS) und Emotionaler Stabilität und ihrer Interaktion als Prädiktoren des Entscheidungskriteriums c, Sensitivität d' und der Falschen Alarm Rate (N = 40). 139

Anhang: Tabelle 3: Studie 2: 2x2-ALM der Selbstberichte der Probandinnen (Meditation: N = 16; PMR: N = 17)..... 139

Anhang: Tabelle 4: Studie 2: 2x2-ALM der Fehler-Verhaltensdaten der Probandinnen (Meditation: N = 16; PMR: N = 17)..... 140

Anhang: Tabelle 5: Studie 2: 2x2x3-ALM für Reaktionszeiten (RT) und Reaktionszeitvariabilität (RTSD) (Meditation: N = 16; PMR: N = 17)..... 141

Anhang: Tabelle 6: Studie 2: 2x2x3-ALM für Ne/ERN- und Pe-Peak-Amplituden (Meditation: N = 16; PMR: N = 17)..... 142

Anhang: Tabelle 1: Studie 1: Antworttyp (Korrekt vs. Fehler) x Entdeckung (entdeckt vs. unentdeckt) ALM mit den Kovariaten Emotionale Stabilität (ES) und Achtsamkeit (MAAS) für die abhängigen Variablen Reaktionszeit (RT), Reaktionszeitvariabilität (RTSD), Fehlernegativität (Ne/ERN) und Fehlerpositivität (Pe) ($N = 40$).

	RT			RTSD			Ne/ERN			Pe		
	<i>F</i> (1,36)	<i>p</i>	η^2									
Antworttyp	34.29	.001	.488	4.17	.049	.104	7.82	.008	.178	0.00	.992	.000
Entdeckung	40.56	.001	.530	7.71	.009	.176	2.10	.156	.055	1.14	.293	.031
Antworttyp x Entdeckung	1.90	.177	.050	22.90	.001	.389	5.67	.023	.136	5.07	.031	.123
Achtsamkeit (MAAS)	1.43	.239	.038	0.03	.868	.001	0.52	.477	.014	0.38	.542	.010
Emotionale Stabilität (ES)	0.13	.721	.004	5.43	.026	.131	0.00	.984	.000	5.06	.031	.123
MAAS x Antworttyp	0.11	.738	.003	0.35	.555	.010	0.81	.373	.022	0.03	.865	.001
MAAS x Entdeckung	0.09	.781	.002	2.04	.161	.054	0.68	.414	.019	0.00	.991	.000
MAAS x Antworttyp x Entdeckung	0.37	.547	.010	1.36	.251	.036	0.52	.477	.014	0.05	.818	.001
ES x Antworttyp	0.373	.545	.010	0.09	.765	.003	1.62	.211	.043	0.00	.985	.000
ES x Entdeckung	0.00	.954	.000	0.06	.801	.002	0.25	.618	.007	0.00	.999	.000
ES x Antworttyp x Entdeckung	0.5	.828	.001	0.20	.888	.001	1.54	.223	.041	0.14	.706	.004
MAAS x ES	1.31	.260	.035	3.98	.054	.099	1.03	.318	.028	0.36	.553	.010
MAAS x ES x Antworttyp	0.03	.854	.001	0.22	.640	.006	2.25	.143	.059	0.01	.945	.000
MAAS x ES x Entdeckung	0.35	.559	.010	0.09	.763	.003	2.72	.108	.070	2.79	.103	.072
MAAS x ES x Antworttyp x Entdeckung	0.38	.542	.010	0.17	.686	.005	0.73	.397	.020	0.03	.863	.001

Anhang: Tabelle 2: Studie 1: Beta-Gewichte und ihre *p*-Werte der Regressionsanalysen von Achtsamkeit (MAAS) und Emotionaler Stabilität und ihrer Interaktion als Prädiktoren des Entscheidungskriteriums *c*, Sensitivität *d'* und der Falschen Alarm Rate (*N* = 40).

	Mindfulness (MAAS)		Emotional Stability		Interaction	
	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>
Criterion <i>c</i>	.133	.510	-.052	.793	.070	.688
Sensitivity <i>d'</i>	.014	.944	.116	.556	.155	.370
False alarm rate	-.092	.645	-.061	.757	-.166	.338

Anhang: Tabelle 3: Studie 2: 2x2-ALM der Selbstberichte der Probandinnen (Meditation: *N* = 16; PMR: *N* = 17).

Faktor	Messwert	<i>F</i> (31,1)	<i>p</i>	η^2	Einschätzung
Sitzung	Achtsamkeit (FFA)	7.042	.012	.185	Großer Effekt
	PHLMS Gewährsein	2.688	.111	.080	Mittler Effekt
	PHLMS Akzeptanz	6.645	.015	.177	Großer Effekt
	BIS motorische Impulsivität	.515	.479	.016	Kleiner Effekt
	BIS Aufmerksamkeit	8.498	.007	.215	Großer Effekt
	BIS Voraussicht	.121	.731	.004	Kein Effekt
	ASS-SYM	22.189	.001	.417	Großer Effekt
Trainingsgruppe	Achtsamkeit (FFA)	2.227	.146	.067	Mittler Effekt
	PHLMS Gewährsein	1.212	.279	.038	Kleiner Effekt
	PHLMS Akzeptanz	.121	.731	.004	Kein Effekt
	BIS motorische Impulsivität	.000	.998	.000	Kein Effekt
	BIS Aufmerksamkeit	1.024	.319	.032	Kleiner Effekt
	BIS Voraussicht	1.864	.182	.057	Kleiner Effekt
	ASS-SYM	.415	.524	.013	Kleiner Effekt
Sitzung *	Achtsamkeit (FFA)	.176	.678	.006	Kein Effekt
Trainingsgruppe	PHLMS Gewährsein	.018	.895	.001	Kein Effekt
	PHLMS Akzeptanz	.041	.840	.001	Kein Effekt
	BIS motorische Impulsivität	.935	.341	.029	Kleiner Effekt
	BIS Aufmerksamkeit	1.508	.229	.046	Kleiner Effekt
	BIS Voraussicht	.889	.353	.028	Kleiner Effekt
	ASS-SYM	.099	.755	.003	Kein Effekt

Anhang: Tabelle 4: Studie 2: 2x2-ALM der Fehler-Verhaltensdaten der Probandinnen (Meditation: $N = 16$; PMR: $N = 17$).

Faktor	Messwert	$F(31,1)$	p	η^2	Einschätzung
Sitzung	post-error slowing	1.738	.197	.053	Kleiner Effekt
	post-error performance	38.852	.001	.556	Großer Effekt
	Entscheidungskriterium c	.001	.982	.000	Kein Effekt
	Sensitivität d'	.001	.980	.000	Kein Effekt
	Gesamtfehlerrate	17.662	.001	.363	Großer Effekt
Trainingsgruppe	post-error slowing	.030	.863	.001	Kein Effekt
	post-error performance	.880	.355	.028	Kleiner Effekt
	Entscheidungskriterium c	.715	.404	.023	Kleiner Effekt
	Sensitivität d'	.179	.675	.006	Kein Effekt
	Gesamtfehlerrate	.017	.897	.001	Kein Effekt
Sitzung *	post-error slowing	1.094	.304	.034	Kleiner Effekt
Trainingsgruppe	post-error performance	.392	.536	.012	Kleiner Effekt
	Entscheidungskriterium c	.552	.463	.017	Kleiner Effekt
	Sensitivität d'	.715	.404	.023	Kleiner Effekt
	Gesamtfehlerrate	.276	.603	.009	Kein Effekt

Anhang: Tabelle 5: Studie 2: 2x2x3-ALM für Reaktionszeiten (RT) und Reaktionszeitvariabilität (RTSD)
(Meditation: N = 16; PMR: N = 17).

Faktor	Messwert	df	F	p	η^2	Einschätzung
Trainingsgruppe	RT	(1, 31)	.002	.968	.000	Kein Effekt
	RTSD	(1, 31)	1.643	.209	.050	Großer Effekt
Sitzung	RT	(1, 31)	3.965	.055	.113	Mittlerer Effekt
	RTSD	(1, 31)	14.071	.001	.312	Großer Effekt
Sitzung * Trainingsgruppe	RT	(1, 31)	.356	.555	.011	Kleiner Effekt
	RTSD	(1, 31)	.054	.818	.002	Kein Effekt
Antwortart	RT	(1.608, 49.862) ^a	34.272	.001	.525	Großer Effekt
	RTSD	(2, 62)	17.295	.001	.358	Großer Effekt
Antwortart * Trainingsgruppe	RT	(1.608, 49.862) ^a	1.249	.289	.039	Kleiner Effekt
	RTSD	(2, 62)	1.374	.261	.042	Kleiner Effekt
Sitzung * Antwortart	RT	(2, 62)	3.291	.044	.096	Mittlerer Effekt
	RTSD	(1.624, 50.355) ^a	5.214	.013	.144	Großer Effekt
Sitzung * Antwortart *	RT	(2, 62)	.060	.942	.002	Kein Effekt
	RTSD	(1.624, 50.355) ^a	.125	.841	.004	Kein Effekt
Trainingsgruppe						

^a korrigierte Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser wegen Verletzung der Sphärizität.

Anhang: Tabelle 6: Studie 2: 2x2x3-ALM für Ne/ERN- und Pe-Peak-Amplituden (Meditation: N = 16; PMR: N = 17).

Faktor	Messwert	df	F	p	η^2	Einschätzung
Trainingsgruppe	Pe	(1, 31)	.953	.337	.030	Kleiner Effekt
	ERN	(1, 31)	.450	.507	.014	Kleiner Effekt
Sitzung	Pe	(1, 31)	4.707	.038	.132	Mittlerer Effekt
	ERN	(1, 31)	1.252	.272	.039	Kleiner Effekt
Sitzung * Trainingsgruppe	Pe	(1, 31)	.066	.798	.002	Kein Effekt
	ERN	(1, 31)	.123	.728	.004	Kein Effekt
Antwortart	Pe	(2, 62)	16.153	.001	.343	Großer Effekt
	ERN	(2, 62)	10.804	.001	.258	Großer Effekt
Antwortart * Trainingsgruppe	Pe	(2, 62)	.248	.781	.008	Kein Effekt
	ERN	(2, 62)	.767	.469	.024	Kleiner Effekt
Sitzung *	Pe	(2, 62)	1.072	.349	.033	Kleiner Effekt
Antwortart	ERN	(1.392, 43.159) ^a	2.457	.114	.073	Mittlerer Effekt
Sitzung *	Pe	(2, 62)	.683	.509	.022	Kleiner Effekt
Antwortart * Trainingsgruppe	ERN	(1.392, 43.159) ^a	.345	.632	.011	Kleiner Effekt

^a korrigierte Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser wegen Verletzung der Sphärizität.

Danksagungen

Die vorliegende Dissertation wäre nicht entstanden, ohne die Unterstützung meiner Betreuerin Prof. Dr. Jutta Stahl. Mit jeder Frage konnte ich mich an sie wenden und ihr stetes, ausführliches und konstruktives Feedback hat mir geholfen, meine Promotionszeit so lehrreich und angenehm wie möglich zu machen. Für ihr Vertrauen und ihre Betreuung bedanke ich mich sehr herzlich.

Auch gilt mein großer Dank meinem Zweitgutachter, Herrn Prof. Dr. Alexander Gerlach, der mir jederzeit Unterstützung bot und von dem ich vieles gelernt habe.

Besonderer Dank gilt natürlich all den Personen, die an meinen Studien teilgenommen haben. Sie haben dieses Forschungsprojekt erst möglich gemacht.

Ohne die gesamte dunkle und helle Seite der Macht auf der Pohligstraße wären die letzten vier Jahre eine triste Zeit gewesen. Neben Darth Vader Jutta, bedanke ich mich bei meinen Kollegen und Kolleginnen Manuela Hundrieser, Wilfried Follmann, Katharina Ohmann, Ulrike, Miriam Kresimon, Gerhard Mutz, Yohana Siswandari, Kilian Lenk und Jan Gommann. Letzterem gilt insbesondere mein Dank für seine Hilfe bei der Datenerhebung. Besonders meine Praktikantin Nora Bomke und meine Master-Studentin Erzsébet Tappe haben einen Großteil der Studie 2 erhoben und mir auch bei den Vor- und Nachbereitungen der Datenerhebung geholfen. Bessere Unterstützung hätte ich mir nicht vorstellen können, danke sehr!

Die sechs Monate in Providence an der Brown University im Britton Lab, gefördert durch den DAAD und durch die Graduiertenschule der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln, boten mir ein fruchtbares Umfeld zum Schreiben meiner Dissertation und ich bedanke mich sehr bei all jenen, die auch im Britton Lab gearbeitet haben, allen voran natürlich Prof. Willoughby Britton und Jared Lindahl, aber im Besonderen meinen Freunden Nick Canby, Carly Margolis, Hadley Rahrig und Brendan Cullen.

Die stetige Unterstützung und Ablenkung und die immer wieder inspirierenden Dialoge mit meinen Freunden Jule, Lisa, Philipp, Sabine, Susanne, Nikolaj, Schorsch, Alec, Susi, Jan, Helen, Resi und mit meiner Schwester Marielle machten erst mein Leben als Promotionsstudentin (und überhaupt) lebenswert. Vielen Dank auch an meine Eltern und insbesondere an meine Mutter, die die einzige war, die diese Arbeit vollständig in ihrer letzten Fassung gelesen und auf Fehlern hin überprüft hat.