

Frühe essensbezogene Aufmerksamkeitsprozesse bei der Binge-Eating-Störung

Dissertation

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard Karls Universität Tübingen
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt von
M. Sc. Dustin Werle
aus Leonberg

Tübingen
2024

Gedruckt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Eberhard Karls Universität Tübingen.

Tag der mündlichen Qualifikation: 12.03.2025

Dekan: Prof. Dr. Thilo Stehle

1. Berichterstatterin: Prof. Dr. Jennifer Svaldi

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Martin Hautzinger

3. Berichterstatterin: Prof. Dr. Ulrike Buhlmann

"Perfection and power are overrated.

I think you are very wise to choose happiness and love."

- Iroh

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	8
Summary	9
Publikationsliste	10
Eigenanteil	11
Einleitung	12
Incentive Sensitization Theory	12
Essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei der BES	14
Ereigniskorrelierte Potentiale zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverzerrung	16
Eye-Tracking zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverzerrung	21
Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung	22
Zusammenfassung und Hypothesen	27
Zielsetzung	28
Methoden	29
Proband*innen	29
Material	32
Go/No-Go-Paradigma mit EEG	32
AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking	33
Bogus Taste Test	34
Fragebögen	34
Ablauf	35

Datenaufbereitung.....	37
Go/No-Go-Paradigma mit EEG.....	37
AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking.....	38
Statistische Analyse.....	39
Go/No-Go-Paradigma mit EEG.....	39
AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking.....	40
Ergebnisse.....	42
Baseline-Vergleich der Aufmerksamkeitsverzerrung und des Cravings.....	42
N2pc in No-Go-Durchgängen (H1).....	42
N2pc in Go-Durchgängen (H2).....	42
P300 (H3).....	42
LPP (H4).....	43
Craving (H5).....	43
Stimulusratings (Explorativ).....	44
Korrelationen der subjektiven Esspathologie und späten EKPs (Explorativ).....	44
Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung, Veränderung des Cravings und des Essverhaltens.....	45
Reaktionszeit (H6a und H6b).....	45
Gesamtblickdauer (H7a und H7b).....	45
Erstfixationshäufigkeit (H8).....	46
Craving (H9).....	46
Essverhalten (H10a und H10b).....	46
Korrelationen der Veränderung in Aufmerksamkeitsverzerrung und Esspathologie (Explorativ).....	47

Diskussion 48

 Limitationen 67

 Ausblick und Implikationen 69

Literatur 73

Anhang mit Publikationen 93

 Anhang A: Publikation 1 (Werle, Sablottny, Ansorge, Biehl, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024) 94

 Anhang B: Publikation 2 (Werle, Sablottny, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024) 110

Danksagung 125

Abkürzungsverzeichnis

<i>AMT</i>	Aufmerksamkeitsmodifikationstraining
<i>BDI</i>	Beck Depression Inventory
<i>BED</i>	Binge Eating Disorder
<i>BES</i>	Binge-Eating-Störung
<i>BMI</i>	Body-Mass-Index
<i>DPP</i>	Dot-Probe-Paradigma
<i>DSM</i>	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
<i>EDE</i>	Eating Disorder Examination
<i>EDE-Q</i>	Eating Disorder Examination-Questionnaire
<i>EKP</i>	Ereigniskorreliertes Potenzial
<i>EMA</i>	Ecological Momentary Assessment
<i>EMI</i>	Ecological Momentary Intervention
<i>ERP</i>	Event-Related Potential
<i>FCQ-S</i>	State Food-Craving Questionnaire
<i>IST</i>	Incentive Sensitization Theory
<i>LPP</i>	Late Positive Potential
<i>SKID</i>	Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV

Zusammenfassung

Psychotherapeutische Interventionen zur Behandlung der Binge-Eating-Störung (BES) zeigen eine moderate Wirksamkeit. Um eine Verbesserung dieser Interventionen zu erzielen, ist eine genauere Kenntnis der auslösenden und aufrechterhaltenden Mechanismen der Störung notwendig. Prominente und empirisch bestätigte theoretische Modelle wie die *Incentive Sensitization Theory* (IST) schreiben essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrungen eine zentrale Rolle zu. Ereigniskorrelierte Potenziale (EKPs) und Eye-Tracking Maße stellen relativ direkte und zeitlich hochaufgelöste Methoden zur Erfassung von Aufmerksamkeitsprozessen dar.

Im ersten Schritt untersuchte diese Arbeit, ob Personen mit BES tatsächlich eine stärkere Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu Essen aufweisen als Personen mit Normalgewicht und Personen mit Übergewicht ohne BES. Hierfür wurden EKPs aus dem frühen-mittleren (N2pc) und späten (P300, LPP) zeitlichen Verlauf beim Betrachten von Essensbildern analysiert. Im zweiten Schritt erfolgte der Versuch, die Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES zu reduzieren. Mithilfe eines modifizierten Dot-Probe-Paradigmas (DPP) lernte ein Teil der Gruppe mit BES über vier Sitzungen hinweg, ihre Aufmerksamkeit weg von Essensbildern zu lenken. Ein anderer Teil der Gruppe mit BES, in dem keine Modifikation der Aufmerksamkeit stattfand, diente als Kontrollgruppe. Mithilfe von Eye-Tracking- und Verhaltensmaßen wurde getestet, ob die Aufmerksamkeitsverzerrung reduziert werden konnte und welche Auswirkungen sich daraus auf das Essverhalten ergaben.

Zentrale elektrophysiologische Ergebnisse der Gruppe mit BES deuten auf eine erhöhte motivierte Aufmerksamkeit auf Essen hin. Diese erhöhte motivierte Aufmerksamkeit reduzierte sich im Zeitfenster der LPP, möglicherweise aufgrund kognitiver Regulationsstrategien. In der aktiven Trainingsbedingung zeigte sich nur für Eye-Tracking Maße eine erfolgreiche Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung. Allerdings erfolgte kein Transfer dieser Aufmerksamkeitsreduktion auf die Ebene des tatsächlichen Essverhaltens.

Zusammengefasst bestätigt diese Arbeit essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrungen bei der BES. Zugleich verdeutlicht sie die Komplexität des zeitlichen Ablaufs dieser Verzerrungen sowie des Zusammenhangs zwischen Aufmerksamkeitsverzerrungen und unterliegender Esspathologie.

Summary

Psychotherapeutic interventions for the treatment of binge eating disorder (BED) show moderate efficacy. To improve on these interventions, a more detailed knowledge of the mechanisms causing and maintaining the disorder is needed. Prominent and empirically confirmed theoretical models such as the Incentive Sensitization Theory (IST) attribute a central role to food-specific attentional biases. In this context, event-related potentials (ERPs) and eye-tracking measures represent relatively direct methods with high temporal resolution to capture attentional processes.

First, this thesis investigated whether individuals with BED indeed display a stronger attentional bias towards food than overweight individuals and normal-weight individuals without BED. For this purpose, early-to-mid- (N2pc) and late-latency ERPs (P300, LPP) were analyzed while viewing food pictures. Second, the study aimed at reducing attentional bias in subjects with BED. Using a four-session modified dot probe paradigm (DPP), part of the group with BED learned to direct their attention away from food pictures. The remaining sample with BED, for which no attentional bias modification occurred, served as a control group. Eye-tracking and behavioral measures were used to test whether the attentional bias could be reduced and how eating behavior was subsequently affected.

Central electrophysiological results of the group with BED indicate an increased motivated attention to food stimuli. In the LPP time window, this attentional bias diminished, possibly due to cognitive regulation strategies. In the active training condition, successful reduction of attentional bias was evident only for eye-tracking measures. However, there was no transfer of this bias reduction to actual eating behavior. In summary, this study confirms food-specific attentional biases in BED. Likewise, it highlights the complexity of the time course of these biases, as well as the relationship between attentional biases and underlying eating pathology.

Publikationsliste

Akzeptierte Publikationen

Werle, D., Sablottny, L., Ansorge, U., Biehl, S. C., Tuschen-Caffier, B., & Svaldi, J. (2024). Attention to food stimuli in binge eating disorder: Electrophysiological evidence. *Appetite*, 203, 107682.

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107682>

Werle, D., Sablottny, L., Tuschen-Caffier, B., & Svaldi, J. (2024). Modifying biased attention towards food stimuli in binge eating disorder: A multi-session training study. *Appetite*, 196, 107284. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107284>

Eigenanteil

Die Durchführung der zugrundeliegenden Studie erfolgte simultan in zwei Studiocentern an der Universität Tübingen und Universität Freiburg.

Prof. Dr. Jennifer Svaldi bildete die Projektleitung in Tübingen, Prof. Dr. Brunna Tuschen-Caffier in Freiburg. Beide Professorinnen stellten gemeinsam den DFG-Antrag auf Förderung des Projektes und konzipierten das Studienprotokoll in diesem Rahmen.

Die Ausgestaltung der konkreten Studien, inklusive Materialerstellung, erfolgte in Kooperation mit den Projektleitenden durch die Mitarbeiter*innen Dustin Werle, Sabine Arnold und Charlotte Thaler. Die Datenerhebung an der Universität Freiburg erfolgte hauptverantwortlich durch Charlotte Thaler, Nicole Thörel und Lynn Sablotny. In Tübingen führte Dustin Werle die Datenerhebung durch. Sämtliche in der Dissertationsschrift befindlichen Datenanalysen wurden von Dustin Werle durchgeführt. Die Aufbereitung der EEG-Daten wurde durch Dr. Stefanie Biehl und Prof. Dr. Ulrich Ansorge unterstützt. Beide beinhaltenen Manuskripte wurden in ihrer Erstfassung durch Dustin Werle in enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Jennifer Svaldi erstellt. Alle beteiligten Autor*innen waren an der Überarbeitung der Erstfassung beteiligt.

Das wissenschaftliche Projekt, aus dem diese Dissertationsschrift ihre Studienergebnisse bezieht, umfasste zusätzlich folgende Paradigmen und Fragestellungen, die an anderer Stelle publiziert werden: Es erfolgten zwei Prä-Post Vergleiche, bei denen die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung von Personen mit BES vor und nach dem Training verglichen wurden. Dies wurde einerseits mithilfe einer Eye-Tracking Messung im Rahmen eines DPP, andererseits mithilfe einer EEG-Messung im Rahmen eines Go/No-Go-Paradigmas evaluiert.

Einleitung

Die Binge-Eating-Störung (BES) ist charakterisiert durch wiederkehrende Essanfälle, in denen große Essensmengen unter Kontrollverlust verzehrt werden. Anders als bei der Bulimia nervosa werden keine kompensatorischen Maßnahmen unternommen (American Psychiatric Association, 2013). Mit einer weltweiten Prävalenz von etwa 0.9 % zählt sie zu den häufigsten Essstörungen (Erskine & Whiteford, 2018). Für Betroffene geht sie mit einer deutlich eingeschränkten Lebensqualität (de Zwaan et al., 2002) sowie einem erhöhten Mortalitätsrisiko einher (Arcelus et al., 2011; Fichter et al., 2008). Darüber hinaus zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen der BES und Adipositas (Yanovski, 2003). Daraus ergeben sich weitere, sekundäre Krankheitsrisiken, die bei Personen mit BES teilweise noch stärker ausgeprägt sind als bei Personen mit Adipositas ohne BES (Klatzkin et al., 2015).

Trotz eingeschränkter Lebensqualität und erhöhter Gesundheitsrisiken erhalten nur 38.3 % aller von BES betroffenen Personen jemals eine Behandlung für ihre Essstörung (Kessler et al., 2013). Randomisiert kontrollierte Studien zeigen zudem, dass nur etwa die Hälfte aller an BES erkrankten Personen nach einer psychotherapeutischen Behandlung nicht mehr unter Essanfällen leidet (Hilbert et al., 2019). Hohe Prävalenz und Krankheitslast sowie eine geringe Remissionsrate nach Psychotherapie machen die Notwendigkeit effektiverer Behandlungsangebote deutlich. Um eine Verbesserung der Behandlungsangebote zu gewährleisten, ist ein genaueres Verständnis der Mechanismen, die die BES auslösen und aufrechterhalten, notwendig.

Incentive Sensitization Theory

Die Incentive Sensitization Theory (IST) stellt eine neurobiologische Theorie dar, mithilfe derer sich Verhaltensweisen innerhalb der BES erklären lassen. In ihrer ursprünglichen Form wurde sie als Theorie zur Charakterisierung von Suchterkrankungen postuliert und nennt ein verändertes Dopaminsystem als ihr Kernelement (Berridge & Kringelbach, 2015; Robinson & Berridge, 1993).

Studienergebnisse zeigen, dass auch von BES betroffene Personen ein verändertes Ansprechen dopaminergischer Strukturen aufweisen (Bello, & Hajnal, 2010). Es zeigte sich etwa, dass Personen mit BES, verglichen mit Personen ohne BES, einen höheren Anstieg des Dopaminspiegels im Nucleus caudatus aufwiesen, wenn ihnen

Essen präsentiert wurde. Dieser Anstieg war überdies korreliert mit dem Schweregrad des Binge-Eating-Verhaltens (Wang et al., 2011). Aufgrund solcher Studienergebnisse, die ein verändertes Dopaminsystem als Faktor der BES nahelegen, wurde das Anwendungsgebiet der IST auch auf dieses Störungsbild ausgeweitet (Berridge, 2009).

Die IST beschreibt als zentrale Funktion des Dopaminsystems, solche Stimuli besonders salient erscheinen zu lassen, die Belohnung vorhersagen. Wird ein belohnungsvorhersagender Reiz, z.B. ein Essensstimulus, wahrgenommen, so folgt eine Aktivierung des Dopaminsystems. Durch diese dopaminerge Aktivierung erhält der belohnungsvorhersagende Reiz dann die beschriebene erhöhte Salienz, die auch als *incentive salience* bezeichnet wird. In der Folge ziehen diese hochsalienten Reize auch ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit auf sich, die sogenannte *motivierete Aufmerksamkeit* (Robinson & Berridge, 1993; Berridge, 2009). Erhöhte Salienz und motivierte Aufmerksamkeit erfüllen und erfüllen eine wichtige evolutionäre Funktion, da sie den Menschen zum Aufsuchen belohnungsassoziierter Reize motivieren. Am Beispiel des Essensstimulus wird diese evolutionäre Funktion besonders deutlich, da ein stärkerer Aufmerksamkeitsfokus auf Essen, besonders in Zeiten von Nahrungsknappheit, das Überleben förderte. Der stärkere essensbezogene Aufmerksamkeitsfokus, der im Kontext von Nahrungsknappheit adaptiv war (und ist), kann jedoch im Kontext eines Überangebots von Essen auch einen Risikofaktor darstellen. Dieselben dopaminergen Strukturen, die einst das Überleben unter Nahrungsknappheit unterstützten, tragen heute zur Gefahr eines unkontrollierten Essverhaltens bei (O'Connor & Kenny, 2016; Volkow et al., 2011; Wiss et al., 2018).

Weiter beschreibt die IST, wie der wiederholte, übermäßige Konsum belohnungsassoziierter Stimuli (im Falle der BES also hochkalorischer Nahrungsmittel) zu einer fortschreitenden *Sensitivierung des Dopaminsystems* führt. Im Zuge dieser Sensitivierung wandelt sich die ursprünglich bestehende *Vorliebe* nach Konsum zunehmend zu einem *Wunsch* nach Konsum, der in der Theorie als „Wollen“ oder *Wanting* bezeichnet wird. Die hedonische, mit Freude und Genuss assoziierte Vorliebe nach Konsum, wird in der Theorie als *Liking*, also als „Mögen“, bezeichnet und geht in der Regel mit einer positiven Bewertung des Stimulus einher. Der Wunsch nach einem Stimulus, also das *Wanting*, kann hingegen ohne eine positive Valenz und ohne das Erleben positiver Gefühle auftreten. Bei fortschreitender Sensitivierung des Dopaminsystems wird dieser Wunsch auf der

emotionalen Ebene zunehmend von einem Gefühl des Verlangens, oder auch *Cravings*, begleitet (Robinson & Berridge, 1993; Berridge, 2009).

Kurz zusammengefasst beschreibt die IST also ein sensitiviertes Dopaminsystem als aufrechterhaltenden Faktor der BES. Innerhalb dieses Dopaminsystems wirken Nahrungsmittelkonsum, Dopaminausschüttung, Aufmerksamkeitsverzerrung und Craving in einer Art Teufelskreis zusammen. Häufiger Nahrungsmittelkonsum führt zu einer erhöhten Dopaminausschüttung. Eine erhöhte Dopaminausschüttung führt zu einer verstärkten motivierten Aufmerksamkeit auf Nahrungsmittel. Die erhöhte motivierte Aufmerksamkeit bedingt wiederum ein erhöhtes Craving für diese Nahrungsmittel. Dieses verstärkte Craving erhöht nun die Wahrscheinlichkeit, dass das Nahrungsmittel tatsächlich konsumiert wird, wodurch der Kreislauf erneut beginnt.

Studienergebnisse bestätigen neben dem veränderten Dopaminsystem auch die zentrale Rolle des Cravings für die Esspathologie der BES. So zeigten sich in einer Bevölkerungsstichprobe signifikante Zusammenhänge zwischen Craving und Binge-Eating-Verhalten, sowie zwischen Craving und der generellen Esspathologie (Chao et al., 2016). Ferner stellte sich Craving als zentraler Mediator zwischen essensbezogenen, suchtähnlichen Tendenzen und vollausgeprägten Essanfällen heraus (Joyner et al., 2015). Personen mit BES wiesen zudem im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit Adipositas und einer Kontrollgruppe mit Normalgewicht sowohl vor als auch nach einer Konfrontation mit einem favorisierten Snack erhöhte Craving-Werte auf. Beide Craving-Werte der Gruppe mit BES (vor und nach Konfrontation) waren zudem positiv korreliert mit der konsumierten Menge des präsentierten Snacks (Ng & Davis, 2013). Insbesondere die Zusammenhänge zwischen Craving und tatsächlichem Essverhalten bei Personen mit BES unterstreichen die Wichtigkeit dieses Konstruktes zum besseren Verständnis der Esspathologie.

Essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei der BES

Analog zu den Faktoren Dopaminsystem und Craving bestätigen auch zahlreiche Studien die von der IST beschriebene, essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES (Stojek et al., 2018). Diese empirischen Befunde erstrecken sich über eine Vielzahl verschiedener experimenteller Paradigmen. Entsprechend erkannten Personen mit BES in einer clarification task Essenswörter schneller als neutrale Wörter (Schmitz et al. 2014). Darüber hinaus war der attentional blink Effekt

bei Personen mit BES relativ zu Personen mit Übergewicht, aber ohne BES reduziert, wenn es sich bei dem Target um ein Essenswort handelte (Schmitz et al., 2015). In einem Dot-Probe-Paradigma (DPP) zeigten Personen mit BES im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit Adipositas, aber ohne BES überdies eine stärkere Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit auf Essensreize (Deluchi et al., 2017). Hervorzuheben ist, dass die einzige dieser Studien, die auf eine Korrelation zwischen essensbezogener Aufmerksamkeitsverzerrung und subjektiv berichteter Esspathologie testeten, tatsächlich eine positive Korrelation fanden (Schmitz et al., 2014). Demnach konnte nicht nur die Aufmerksamkeitsverzerrung an sich, doch auch deren Zusammenhang mit der Esspathologie in Laborstudien bestätigt werden. Eine Limitation dieser Laborstudien besteht darin, dass sie zwar eine gute Kontrolle von Störvariablen, dabei jedoch eine geringe ökologische Validität aufweisen. Es kann also nicht vorausgesetzt werden, dass sich dieselben Zusammenhänge auch in einer naturalistischen Umgebung replizieren lassen. Aus diesem Grund wurden auch im Bereich der BES Feldstudien (Ecological Momentary Assessment [EMA]) durchgeführt. Eine dieser Studien erfasste über zehn Tage hinweg und mehrmals am Tag das momentan vorliegende Ausmaß der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung sowie das Auftreten von Essanfällen. Dabei stellte sich das momentan vorliegende Ausmaß an essensbezogener Aufmerksamkeitsverzerrung als Prädiktor für die Wahrscheinlichkeit nachfolgender Essanfälle heraus (Smith, Mason, et al., 2020). Der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsverzerrung und Esspathologie replizierte sich also auch im naturalistischen Setting.

Während viele Studien das Vorliegen einer essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen BES bestätigen, bedienen sich viele dieser Studien reiner Verhaltensmaße. Ein in diesem Zuge häufig verwendetes Paradigma stellt das DPP dar. Im DPP werden ein Essens- und Nichtessensbild gleichzeitig lateralisiert präsentiert. Nach einer kurzen Zeit, beispielsweise 500 Millisekunden, wird nur eines der Bilder von einem geometrischen Zielreiz (einem sog. *Probe*), auf den reagiert werden muss, ersetzt. Dabei erfolgt die Reaktion auf den Zielreiz schneller, wenn die Aufmerksamkeit bereits zuvor auf dem Bild war, welches der Zielreiz dann ersetzt. Reagieren Proband*innen über viele Durchgänge hinweg schneller, wenn der Zielreiz das Essensbild ersetzt, wird dies als Indikator für die beschriebene Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu Essensreizen gewertet. Eine

solche Analyse von Reaktionszeiten erlaubt allerdings nur einen Rückschluss darauf, wo sich die Aufmerksamkeit einer Versuchsperson zum Zeitpunkt der eingeleiteten Reaktion befindet. Das reaktionszeitbasierte Maß bildet demnach nur die *momentane* Aufmerksamkeitsallokation ab, nicht aber den *Verlauf* der Aufmerksamkeitsallokation. Es ist beispielsweise denkbar, dass die Aufmerksamkeit erst kurz vor der Reaktion von einem Bild zum anderen verschoben wird. In diesem Fall wäre die durch die Reaktionszeit abgeleitete Momentaufnahme keine angemessene Repräsentation der Aufmerksamkeitsverteilung.

Das simultane Aufzeichnen kontinuierlicher Maße schließt diese Lücke, da diese Maße angemessenere Rückschlüsse auf die tatsächliche Aufmerksamkeitsverteilung erlauben. Für ein kontinuierliches Erfassen der offenen Aufmerksamkeitsverteilung wird häufig auf Eye-Tracking Maße zurückgegriffen, indem die Blickbewegungen über den gesamten Durchgang hinweg aufgezeichnet werden (Holmqvist et al., 2011). Da die Lokalisierung von Fixation und Aufmerksamkeit jedoch nicht immer zusammenfallen (Horowitz et al., 2007; Kulke et al., 2016), können ergänzend elektrophysiologische Maße eingesetzt werden, um zusätzlich auch *verdeckte* Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden (Handy, 2005; Nobre et al., 2000).

Zusammengefasst bieten sowohl Eye-Tracking Maße als auch elektrophysiologische Maße zentrale Vorteile über das alleinige Erfassen von Reaktionszeiten hinaus. Eye-Tracking ermöglicht das kontinuierliche Erfassen der Aufmerksamkeitsallokation, elektrophysiologische Maße ermöglichen es, auch verdeckte Aufmerksamkeitsprozesse abzubilden.

Ereigniskorrelierte Potentiale zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverzerrung

Insbesondere bei der Untersuchung der motivierten Aufmerksamkeit, die in der IST eine zentrale Rolle spielt, erfüllen elektrophysiologische Maße eine wichtige Funktion. Diese wichtige Funktion begründet sich in Studienergebnissen, die auf einen engen Zusammenhang zwischen motivierter Aufmerksamkeit und späteren ereigniskorrelierten Potenzialen (EKPs) hinweisen (Hajcak et al., 2010; Schupp et al., 2000). Aufgrund dessen wurden EKPs in der Vergangenheit mehrfach herangezogen, um *essensbezogene* Aufmerksamkeitsverzerrungen zu untersuchen (Carbine et al. 2018). Häufig dienen die Amplituden der P300 und des late positive potentials (LPP), beides späte, mit motivierter Aufmerksamkeit in Verbindung stehende EKPs, als abhängige Variablen.

Die P300 ist ein positives Potential, das zumeist zwischen 250 und 500 ms die stärkste Auslenkung zeigt. Sie wird häufig an Elektroden nahe der Skalp-Mittellinie abgeleitet, die exakte Skalp-Verteilung variiert jedoch je nach Aufgabe (Polich, 2007). Ihr neuronaler Ursprung ist eng mit Aufmerksamkeitsprozessen und dem dopaminergen Transmittersystem verknüpft (Polich & Criado, 2006). Reize, die mit mehr motivierter Aufmerksamkeit belegt werden, wie etwa emotional erregende Stimuli, erzeugen auch eine stärkere P300-Amplitude (Olofsson et al., 2008). Eine weitere Studie zeigte zudem, dass auch verbale Instruktionen, die auf eine erhöhte Motivation der Proband*innen abzielte, die Amplitude der P300 beeinflussen konnte (Carrillo-de-la-Peña & Cadaveira, 2000). Unabhängig von verbalen Instruktionen lösen Reize, die mit Belohnung, wie etwa einer monetären Vergütung assoziiert sind, eine stärkere P300 aus (Begleiter et al., 1983). Die IST beschreibt, dass für Personen mit problematischem Substanzkonsum eben die konsumierten Substanzen solche belohnungsassoziierten Reize darstellen. Daraus folgend sollten diese Reize bei Konfrontation mit mehr motivierter Aufmerksamkeit belegt werden, woraus wiederum erhöhte P300-Amplituden resultieren sollten. Mehrere Studien bestätigen eine Verstärkung der P300-Amplituden bei visueller Konfrontation mit Substanzen, etwa bei Personen mit exzessivem Alkoholkonsum (Werle et al., 2021).

Das LPP stellt ein positives Potential dar, das sich zeitlich unmittelbar an die P300 anschließt. Es wird in der Literatur ebenso mit der motivierten Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht und üblicherweise, wie auch die P300, entlang der Skalp-Mittellinie abgeleitet. Zumindest spätere Anteile des Potentials (> 600 ms) sollten als funktional distinkt von der P300 betrachtet werden, da sie zusätzliche emotionsverarbeitende Prozesse abbilden (Foti et al, 2009). Entsprechend lösen emotionale Stimuli im Vergleich zu neutralen Stimuli stärkere LPP-Amplituden aus (Hajcak et al., 2010). Interessanterweise kann diese erhöhte LPP-Reaktivität auf emotionale Stimuli durch kognitive Regulationsstrategien beeinflusst werden. Etwa zeigten Personen beim Betrachten unangenehmer Bilder geringere LPP-Amplituden, wenn sie zuvor instruiert wurden, ihre emotionale Reaktion zu unterdrücken (Moser et al., 2006). Analog dazu zeigten sich geringere LPP-Amplituden, wenn Personen dazu instruiert wurden, unangenehme Bilder kognitiv umzudeuten und ihnen eine positivere Bewertung zuzuschreiben (Hajcak & Nieuwenhuis, 2006). Das LPP scheint demnach – ähnlich wie die P300 – die automatische Erfassung von Aufmerksamkeit durch emotionale Stimuli abzubilden, ist hierbei jedoch – anders als die P300 –

stärker durch kognitive (top-down) Prozesse beeinflussbar (Hajcak et al., 2009). Entscheidend ist, dass sich beide Phänomene – die erhöhten Amplituden sowie der Einfluss von kognitiven Regulationsstrategien – auch auf das Anwendungsgebiet der IST übertragen lassen. Im Einklang mit dem Vorhersagen der IST reagierten Personen mit Substanzabhängigkeit tatsächlich mit verstärkten LPP-Amplituden bei Konfrontation mit der suchtasoziierten Substanz (Dunning et al., 2011). Diese erhöhte Reaktivität konnte wiederum durch die Anwendung kognitiver Regulationsstrategien wie Ablenkung oder Neuinterpretation so weit reduziert werden, dass sie sich nicht mehr von der Reaktivität auf neutrale Stimuli unterschied (Littel & Franken, 2011).

Aufgrund ihrer engen Verknüpfung mit motivierter Aufmerksamkeit, wurden P300 und LPP in der Vergangenheit auch zur Untersuchung gesunden und pathologischen Essverhaltens herangezogen. Diese Studien zeigten, dass auch gesunde Personen mit höheren P300- und LPP-Amplituden auf Essensstimuli, im Vergleich zu neutralen Stimuli, reagierten (Wolz et al., 2015). Wie zuvor erläutert, begründet sich dieses erhöhte Maß an motivierter Aufmerksamkeit, das Essensstimuli zuteilwird, durch deren evolutionär bedingten, belohnenden Charakter. Die IST beschreibt wiederum, dass pathologisches Essverhalten zu einer Sensitivierung des Dopaminsystems führt, woraus eine *noch stärker erhöhte* essensbezogenen motivierte Aufmerksamkeit, sowie entsprechend noch stärker ausgeprägte P300- und LPP-Amplituden resultieren müssten. Tatsächlich bestätigen Studienergebnisse diese Annahmen bereits in subklinischen Populationen. So wiesen Personen mit einem Essensstil, der stärker emotionsgetrieben (Blechert et al., 2014) oder stärker durch äußere Faktoren motiviert (Nijs et al. 2009) ist, höhere essensbezogene Amplituden später EKPs auf als Kontrollpersonen ohne solche Essensstile. Ebenso konnte eine im Vergleich zu gesunden Kontrollproband*innen erhöhte essensbezogene Reagibilität dieser EKPs für erwachsene Personen mit Binge-Eating Symptomen (Schienle et al., 2017) und Kinder mit Kontrollverlust beim Essen (Biehl et al., 2019) gefunden werden.

Im Bereich klinischer Populationen untersuchte bislang nur eine einzige Studie späte essensbezogene EKPs bei einer Stichprobe, die die vollen Diagnosekriterien einer BES erfüllte (Svaldi et al., 2010). Personen mit BES konsumieren im Rahmen von Essanfällen vor allem hochkalorische Nahrungsmittel, wie Snacks, Nachtische und andere fettreiche Nahrungsmittel (Raymond et al., 2003; Yanovski et al., 1992). Die

IST prädiziert daher, dass das dopaminerge System von Personen mit BES für solche hochkalorischen Nahrungsmittel *besonders* sensitiviert ist. Entsprechend sollte eine erhöhte motivierte Aufmerksamkeit, also auch erhöhte, späte EKPs, vor allem für hochkalorische Nahrungsmittel zu beobachten sein. Tatsächlich bestätigt sich diese Annahme empirisch dahingehend, dass Personen mit BES, im Vergleich zu Personen mit Übergewicht, aber ohne BES, mit erhöhten LPP-Amplituden auf hochkalorische Essensstimuli reagierten (Svaldi et al., 2010).

Während P300 und LPP die häufigsten ereigniskorrelierten Potentiale zur Untersuchung motivierter Aufmerksamkeit darstellen, zeigen sich Veränderungen in der Verarbeitung von Essensstimuli bereits in früheren Komponenten. Die N200 stellt einen nach etwa 250 ms auftretenden, negativen Peak dar, der zentral und parietal die stärkste Auslenkung zeigt (Hajcak et al., 2012). Da die N200 mit selektiven Aufmerksamkeitsprozessen in Verbindung steht und durch den emotionalen Gehalt visueller Stimuli beeinflusst werden kann (Olofsson & Polich, 2007), wurde auch sie zur Untersuchung der essensbezogenen Verarbeitung herangezogen. Im subklinischen Bereich zeigten sich etwa für Personen mit einem durch externe Faktoren beeinflussten Essensstil erhöhte essensbezogene N200-Komponenten (Watson & Garvey, 2013). Von zentraler Bedeutung ist eine Studie, die für Personen mit Binge-Eating Symptomen bereits im Zeitfenster der N200 eine veränderte Verarbeitung von hochkalorischem Essen findet. So reagierten zwar auch gesunde Kontrollpersonen mit höheren N200-Amplituden auf Bilder von Schokolade im Vergleich zu neutralen Bildern, allerdings fiel dieser Unterschied für Personen mit Binge-Eating Symptomen signifikant größer aus (Wolz et al., 2017). Veränderte essensbezogene Aufmerksamkeitsprozesse bilden sich also nicht nur in späteren EKPs, doch auch in früheren Potentialen, wie der N200 ab.

Innerhalb der N200 können verschiedenen Subkomponenten hinsichtlich ihrer Lokalisierung im Gehirn sowie ihrer Funktion unterschieden werden. Unter diesen verschiedenen Subkomponenten weist die N2pc (*posterior contralateral*) die Besonderheit auf, auch Auskunft über die räumliche Verteilung visueller Aufmerksamkeit zu geben. Wird ein lateralisiert im Sichtfeld präsentiertes Objekt mit Aufmerksamkeit belegt, zeigt sich an *posterioren* Elektrodenpositionen, *kontralateral* zum Objekt eine stärkere Negativität als ipsilateral. Die maximale Auslenkung dieser lateralisierten Differenz zeigt sich üblicherweise im Bereich des Elektrodenpaares PO7 und PO8 (Luck, 2011). Klassischerweise wird der N2pc zugeschrieben,

selektive Aufmerksamkeit auf *aufgabenrelevanten* Stimuli zu repräsentieren (Eimer, 1996). In einfachen Target-Distraktor-Displays tritt das Potential insbesondere dann auf, wenn aufmerksamkeitsbezogene Filterprozesse von Nöten sind, um ein Target zu identifizieren (Luck & Hillyard, 1994). Aus der Unsicherheit darüber, ob die N2pc Disktraktor-Unterdrückung oder Target-Verstärkung repräsentiert, ergab sich eine Reihe von Folgeexperimenten. In diesen konnte demonstriert werden, dass die N2pc eben das Zusammenwirken *beider* Mechanismen darstellt (Burra & Kerzel, 2014; Hickey et al., 2009; Sawaki et al., 2012). Target-Verstärkung äußert sich elektrophysiologisch demnach in einer stärkeren *Negativität kontralateral zum Target* (N_T), Distraktor-Unterdrückung über eine stärkere *Positivität kontralateral zum Distraktor* (P_D).

Während die N2pc zunächst als Potential verstanden wurde, das nur durch Target-Stimuli ausgelöst wird, weisen spätere Studienergebnisse darauf hin, dass auch Disktraktoren eine N2pc auslösen können. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn Disktraktoren einem zu suchenden Target in bestimmten Eigenschaften ähneln und eine genauere Inspektion der Distraktoren entsprechend aufgabenrelevant ist (Leblanc et al., 2008). Interessanterweise zeigte sich in mehreren Studien, dass besonders saliente Reize selbst dann in der Lage sind, eine N2pc zu evozieren, wenn diese für die Bearbeitung der Aufgabe gänzlich *irrelevant* sind (Eimer & Kiss, 2007; Qi et al., 2013). Bei simultaner Präsentation eines Targets und eines salienten, aufgabenirrelevanten Distraktors, war der Distraktor zudem in der Lage die durch das Target ausgelöste N2pc abzuschwächen (Hickey, 2006). Das Phänomen, dass saliente, aber aufgabenirrelevante Disktraktoren ebenso eine N2pc auslösen, konnte auch mit Essensstimuli repliziert werden. Essens-Disktraktorbilder als besonders saliente Distraktoren lösten stärkere N2pc-Amplituden aus als Nichtessens-Disktraktorbilder (Kumar et al., 2016).

Bislang existiert jedoch noch keine Studie, die sich der N2pc bedient, um die essensbezogene Aufmerksamkeit bei Personen mit BES zu untersuchen. Um diese Lücke zu schließen, untersucht das vorliegende Dissertationsprojekt erstmals die räumliche Verteilung der visuellen essensbezogenen Aufmerksamkeit bei Personen mit BES mithilfe der N2pc. Hierbei kommt ein Go/No-Go-Paradigma zum Einsatz, in dem simultan jeweils zwei Stimuli lateralisiert präsentiert werden. Dieses Paradigma wurde bereits zur Untersuchung der N2pc verwendet (Grubert & Eimer, 2013).

Eye-Tracking zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverzerrung

Während EKPs aufgrund ihrer engen Verbindung zur motivierten Aufmerksamkeit und ihrer Erfassung verdeckter Aufmerksamkeitsprozesse geeignet sind, essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrungen zu untersuchen, bieten Eye-Tracking Maße den Vorteil einer *kontinuierlichen* Messung der Aufmerksamkeitsallokation (Holmqvist et al., 2011). Im Gegensatz zu reaktionszeitbasierten Maßen, die in bisherigen Untersuchungen häufig zum Einsatz kommen, bieten einige Eye-Tracking Maße zudem den Vorteil deutlich besserer interner Reliabilitätswerte. Die mangelnde Reliabilität von Reaktionszeitmaßen zur Messung von essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrungen wurde in der Literatur bereits kritisiert sowie eine explizite Empfehlung zur Verwendung von Eye-Tracking ausgesprochen (van Ens et al., 2019). Auch unter Verwendung hochreliabler Eye-Tracking Maße bestätigen mehrere Studien die Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu (hochkalorischen) Essensreizen bei Personen mit BES und Binge-Eating Symptomen (Popien et al., 2015; Schag et al., 2013; Schmidt et al., 2016; Sperling et al., 2017).

Wenngleich die hohe zeitliche Auflösung des Eye-Trackings eine kontinuierliche Abbildung der Aufmerksamkeitsverteilung ermöglicht, betrachten Studien zumeist nur Mittelwerte der erhobenen Maße. Aufgrund dieses Mittels über eine Vielzahl von Durchgängen, wird einer möglichen dynamischen Natur von Aufmerksamkeitsverzerrungen keine Rechnung getragen. Dies ist insbesondere problematisch, da eine solche Variabilität von Aufmerksamkeitsprozessen von Experimentaldurchgang zu Experimentaldurchgang empirisch bereits gezeigt wurde (Amir et al., 2016). Entsprechend weisen Maße, die die Variabilität der Aufmerksamkeitsverzerrung abbilden, eine höhere Reliabilität auf als Maße, die nur auf Mittelwerten beruhen (Rodebaugh et al., 2016).

Über den Vorteil einer höheren Reliabilität hinaus, erlauben dynamische Maße genauere Einblicke in die *Mechanismen*, die sich hinter einer (vorhandenen oder nicht vorhandenen) mittleren Aufmerksamkeitsverzerrung verbergen: Nimmt man exemplarisch an, dass eine Studie zur Betrachtung von Essensstimuli auf aggregierten Maßen keinen mittlere Aufmerksamkeitsverzerrung findet, so kommen mindestens zwei verschiedene Erklärungen dieses Ergebnisses in Frage. Es ist zum einen denkbar, dass konsistent über alle Experimentaldurchgänge hinweg keine Aufmerksamkeitsverzerrung auftritt. Alternativ könnte das gefundene Ergebnis

jedoch auch durch ambivalente Muster wechselnder Aufmerksamkeitsverzerrungen *hin zu* und *weg von* Essensstimuli herrühren. Nur die ergänzende Betrachtung dynamischer Maße erlaubt eine Unterscheidung des generierenden Mechanismus, der hinter dem mittleren Ergebnis steht. Tatsächlich deuten mehrere Studienergebnisse auf eine motivationale Ambivalenz in Bezug auf Essen bei Personen mit Essstörungen hin (Deluchi et al., 2017; Drobles et al., 2001; Leehr et al. 2016). Diese motivationale Ambivalenz ließe sich insbesondere mit dynamisch operationalisierten Maßen der Aufmerksamkeitsverzerrung abbilden. Aufgrund ihrer Eigenschaft motivationale Ambivalenz erfassen zu können, wurden derartige dynamische Maße bereits eingesetzt, um mögliche essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrungen bei Personen mit Adipositas zu untersuchen. Hierbei zeigte sich eine erhöhte Variabilität der Aufmerksamkeitslenkung bei Personen mit Adipositas, deren Ursache die Autor*innen in einer reduzierten inhibitorischen Kontrolle vermuten (Liu et al., 2019; Liu et al., 2022). Auch bei Personen mit BES deuten Studienergebnisse auf Defizite in der inhibitorischen Kontrolle hin (Balodis et al., 2013; Hege et al., 2015; Svaldi, Naumann et al., 2014). Da also Personen mit BES inhibitorische Kontrolldefizite aufweisen und diese Kontrolldefizite die Variabilität der Aufmerksamkeitslenkung zu beeinflussen scheinen, sollten Studien zur Untersuchung essensbezogener Aufmerksamkeitsverzerrung bei der BES solche Variabilitätsmaße berücksichtigen.

Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung

Wenngleich die dargelegten Befunde die Relevanz essensbezogener Aufmerksamkeitsprozesse für die Entstehung und Aufrechterhaltung der BES unterstützen, stellt sich die Frage, inwiefern diese Prozesse lediglich ein Epiphänomen der Symptomatik darstellen oder ob sie im Hinblick auf Entstehung und Aufrechterhaltung tatsächlich kausal sind. Um die Frage einer Kausalität zu beantworten, bedarf es experimenteller Untersuchungen, innerhalb derer die Aufmerksamkeitsverzerrung nicht nur gemessen, doch *systematisch modifiziert* wird. Zur experimentellen Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung wird häufig eine Variation des bereits beschriebenen DPP verwendet (MacLeod et al., 2002). Ursprünglich für Angststörungen entwickelt (siehe MacLeod & Clarke, 2015 für eine Übersicht), zeigten auf dem DPP basierende Aufmerksamkeitsmodifikationstrainings (AMTs) in diesem Bereich nur geringe Trainingseffekte und eine inkonsistente

Studienqualität (Cristea et al., 2015). Die in der IST beschriebene zentrale Rolle der Aufmerksamkeitsverzerrungen für Abhängigkeitserkrankungen motivierte daraufhin eine Anwendung von AMTs für diese Störungsbilder. Anders als im Bereich der Angststörungen zeigten sich hier vielversprechende Trainingseffekte. AMTs waren in der Lage, Aufmerksamkeitsverzerrungen mit moderaten Effektstärken zu reduzieren (Cristea et al., 2016). Insbesondere aus mehreren Sitzungen bestehende AMTs lieferten zudem Hinweise auf eine kausale Rolle der Aufmerksamkeitsverzerrung, da eine Veränderung derselben zumeist auch mit einer Reduktion der Psychopathologie (Heitmann et al., 2018) sowie einer geringeren Rückfallrate einhergingen (Rinck et al., 2018). Neben der bereits ausführlich dargelegten zentralen Rolle von Aufmerksamkeitsverzerrungen für die BES (Schulte et al., 2016), begründete auch die Effektivität von AMTs im Bereich von Abhängigkeitserkrankungen eine Übertragung der Trainings auf den Bereich des Essens.

Wird das DPP zur Modifikation der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung eingesetzt, werden wie zuvor beschrieben simultan ein Essens- und ein Nichtessensbild lateralisiert präsentiert. Ebenso wie im Falle einer bloßen Messung der Aufmerksamkeitsverzerrung, wird nach einer kurzen Präsentationsdauer nur eines der beiden Bilder durch den Probe ersetzt, auf den reagiert werden muss. Im Falle einer reinen Messung der Aufmerksamkeitsverzerrung, ersetzt der Probe dabei Essens- und Nichtessensbilder gleich häufig. Verschiebt man die Kontingenz des Probes, sodass er häufiger einen der beiden Bildtypen (z.B. Nichtessensbilder) ersetzt, so lernen Versuchsteilnehmende mit der Zeit ihre Aufmerksamkeit auf den Bildtypen zu lenken, der den Probe häufiger vorhersagt. Im Falle einer experimentellen *Reduktion* der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung in der BES würden Kontingenzen also so verschoben, dass der Probe häufiger das Nichtessensbild ersetzt.

Während die Annahmen der IST und empirische Befunde aus dem Bereich der Abhängigkeitserkrankungen eine Anwendung der AMTs spezifisch für die BES motivieren, stammen die ersten Ergebnisse zu essensbezogenen AMTs aus Studien mit gesunden Stichproben mit Normalgewicht. Eine dieser Studien zeigte, dass ein AMT je nach Bedingung in der Lage war, die Aufmerksamkeit vermehrt in Richtung gesunder oder auch in Richtung ungesunder Essensstimuli zu lenken. Nach dem Training bearbeiteten die Proband*innen einen Bogus Taste Test, bei dem sie verschiedene gesunde und ungesunde Nahrungsmittel nach ihrem Geschmack

beurteilen sollten, wobei die gegessene Menge verdeckt gemessen wurde. In diesem Taste Test konsumierten Proband*innen, deren Aufmerksamkeit auf gesunde Essensstimuli gelenkt wurde, tatsächlich mehr gesunde Nahrungsmittel, verglichen mit Proband*innen, deren Aufmerksamkeit auf ungesunde Essensstimuli gelenkt wurde (Kakoschke et al., 2014). Eine weitere Studie demonstrierte ähnliche Effekte unter Verwendung von Schokoladenstimuli. Die Aufmerksamkeit konnte mithilfe eines AMTs verstärkt zu Schokoladenstimuli hin, oder von Schokoladenstimuli weg trainiert werden. Eine durch das Training reduzierte Aufmerksamkeit auf Schokoladenstimuli ging in einem Bogus Taste Test auch mit einem geringeren Schokoladenkonsum einher (Kemps et al., 2014). Zusammengefasst ergaben sich für gesunde Stichproben mit Normalgewicht also Hinweise für eine kausale Rolle essensbezogener Aufmerksamkeitsprozesse für das Essverhalten, da eine Modifikation der Aufmerksamkeit auch mit Veränderungen im Essverhalten einherging. Dieser Zusammenhang ließ sich nachfolgend auch an Stichproben mit erhöhtem Risiko für pathologisches Essverhalten sowie Personen mit Übergewicht und Adipositas replizieren. Für eine Stichprobe von Personen mit erhöhtem Craving (Zhang et al., 2018) sowie für eine Stichprobe mit Übergewicht und Adipositas (Smith, Treffiletti, et al., 2020) übertrug sich die durch ein AMT modifizierte essensbezogene Aufmerksamkeit auf anschließendes Essverhalten im Bogus Taste Test. Erste Hinweise auf die Nachhaltigkeit einer durch AMT veränderten essensbezogenen Aufmerksamkeit lieferte eine Studie mit Personen mit Übergewicht und Adipositas. In dieser konnte gezeigt werden, dass die innerhalb einer einzelnen Trainingssitzung erzielten Trainingseffekte auch nach einer Woche noch anhielten (Kemps et al., 2016).

Trotz dieser vielversprechenden Ergebnisse bei gesunden und subklinischen Stichproben, existieren bislang nur zwei Studien, die die Effekte eines AMTs bei Personen mit BES untersuchen. In einer dieser Studien nahmen Personen mit BES über acht Wochen hinweg an mehreren Trainingssitzungen zur Modifikation der essensbezogenen Aufmerksamkeit teil (Boutelle et al., 2016). Während Studienteilnehmende nach acht Wochen eine Reduktion der Esspathologie sowie des Körpergewichts aufwiesen, zeigte sich wider Erwarten das gegenteilige Muster für die Aufmerksamkeitsverzerrung, die sich nach acht Wochen sogar erhöht hatte. Dieses gegenläufige Muster von Esspathologie und Aufmerksamkeitsverzerrung ist aufgrund des Fehlens einer Kontrollgruppe inhaltlich schwierig einzuordnen, da so

eine Differenzierung zwischen spezifischen Trainingseffekten und sonstigen unspezifischen Effekten unmöglich ist. Diese Lücke einer fehlenden Kontrollgruppe schließt die zweite Studie zu einem essensbezogenen AMT bei Personen mit BES (Schmitz & Svaldi, 2017). Innerhalb dieser Studie wurden Personen mit BES randomisiert in eine Gruppe zur *Reduktion* oder eine Gruppe zur *Erhöhung* der Aufmerksamkeitsverzerrung zugeteilt. Während in der Gruppe zur Erhöhung der Aufmerksamkeitsverzerrung keine Trainingseffekte auftraten, reduzierte sich in der Gruppe zur Reduktion wie erwartet die Aufmerksamkeitsverzerrung. Dieser Gruppenunterschied schließt aus, dass die Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung ausschließlich auf Exposition oder Erwartungseffekte der Versuchsteilnehmenden zurückzuführen ist. Die gefundene Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung ging allerdings nicht mit einer Reduktion des subjektiven Cravings einher. Hierbei ist anzumerken, dass das AMT in dieser Studie nur eine einzelne Sitzung umfasste und das einmalige Training möglicherweise nicht ausreichte, um eine Veränderung im Craving zu erzeugen.

Zusammengefasst deuten beide Studien, die mit Personen mit BES durchgeführt wurden, auf vielversprechende Effekte von AMTs hin. Gleichzeitig verbleiben die gegenläufigen Befunde von Aufmerksamkeitsverzerrung auf der einen und Esspathologie sowie Craving auf der anderen Seite als offene Frage. Mehrere methodische Limitationen beider Studien erschweren es, die genauen Mechanismen hinter der Veränderung der Aufmerksamkeitsverzerrung und einem möglichen Übertrag auf Esspathologie und Craving zu untersuchen. Diese Limitationen umfassen das Fehlen einer Kontrollgruppe, in der nicht trainiert wird (beide Studien), eine einzelne Trainingssitzung (Schmitz & Svaldi, 2017), eine geringe Stichprobengröße (Boutelle et al., 2016), die ausschließliche Verwendung von Reaktionszeitmaßen, die eine geringe Reliabilität aufweisen (beide Studien), sowie das Fehlen einer laborbasierten Erfassung des Essverhaltens (beide Studien).

Das im Rahmen dieses Dissertationsprojektes durchgeführte AMT zielt darauf ab, den eben geschilderten Limitationen zu begegnen. Das Training umfasst daher mehrere Sitzungen, erfolgt unter Verwendung einer Kontrollgruppe, in der nicht trainiert wird, weist eine Stichprobengröße mit ausreichender Power auf und zeichnet während des Trainings Blickbewegungen auf. Darüber hinaus umfasst die Datenanalyse der vorliegenden Arbeit ebenso dynamische Maße der Aufmerksamkeitsverzerrung, um der eingeschränkten Aussagekraft rein aggregierter

Maße vorzubeugen. Zuletzt erfolgt mithilfe eines Bogus Taste Tests eine Erfassung des Essverhaltens unter kontrollierten Laborbedingungen, um mögliche Übertragungseffekte des Trainings zu erfassen.

Zusammenfassung und Hypothesen

Diese Dissertation untersucht die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung sowie deren Modifikation bei Personen mit BES. Hierzu werden zunächst Ergebnisse eines EEG-basierten Go/No-Go-Paradigmas dreier verschiedener Gruppen - einer Gruppe mit BES, einer Kontrollgruppe mit Normalgewicht und einer Kontrollgruppe mit Übergewicht - präsentiert. Dieses EEG-basierte Go/No-Go-Paradigma stellt eine Baseline-Messung der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung dar. Personen mit BES wurden nach der Baseline-Messung randomisiert entweder einem AMT oder einem Kontrolltraining zugeteilt. Die Ergebnisse dieses Trainings über vier Sitzungen hinweg werden ebenso nachfolgend präsentiert.

Somit leistet dieses Dissertationsprojekt einen wichtigen Beitrag sowohl zur Erfassung als auch der möglichen Modifikation essensbezogener Aufmerksamkeitsverzerrungen bei Personen mit BES.

Dabei werden folgende Hypothesen überprüft:

- 1) Personen mit BES weisen zum Baseline-Zeitpunkt eine stärkere essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung auf als Kontrollpersonen mit Übergewicht und diese wiederum eine stärkere Verzerrung als Kontrollpersonen mit Normalgewicht. Diese Aufmerksamkeitsverzerrung zeigt sich über ein breites zeitliches Fenster der Verarbeitung in höheren essensbezogenen Amplituden der N2pc (H1: in Durchgängen ohne konkurrierendes Target und H2: in Durchgängen mit konkurrierendem Target), P300 (H3) und LPP (H4). Die erhöhte Aufmerksamkeitsverzerrung der Gruppe mit BES geht zudem mit einem stärkeren Craving einher (H5).
- 2) Die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES lässt sich in einem Training zur Reduktion dieser Verzerrung tatsächlich verringern, wohingegen ein Kontrolltraining keinen Einfluss zeigt. Die Effektivität des Trainings zeigt sich über eine Reduktion aggregierter und dynamischer Maße der Reaktionszeit (H6a: aggregiert; H6b: dynamisch), Gesamtblickdauer (H7a: aggregiert; H7b: dynamisch) und Erstfixationshäufigkeit (H8). Die Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung geht mit einer Verringerung im Craving (H9), weniger konsumierten Kalorien im Bogus Taste Test (H10a) und einer stärkeren Verbesserung der Esspathologie (H10b) einher.

Zielsetzung

Die vorliegende Dissertationsschrift zielt darauf ab, zu einem besseren Verständnis auslösender und aufrechterhaltender Mechanismen der BES beizutragen. Hierfür soll auf der Grundlage zuvor beschriebener theoretischer Modelle und empirischer Studienergebnisse die frühe, essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung genauer beleuchtet werden. Im ersten Schritt erfolgt hierzu ein Vergleich von Personen mit BES mit sowohl einer Kontrollgruppe mit Übergewicht als auch einer Kontrollgruppe mit Normalgewicht. Die Verwendung dieser beiden Kontrollgruppen ermöglicht es, Effekte des Übergewichts und Effekte der Esspathologie zu differenzieren. Der Einbezug elektrophysiologischer Maße erlaubt dabei eine direkte Messung der offenen und verdeckten frühen Aufmerksamkeit. Wir erwarten eine stärkere essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen, die unter BES leiden, im Vergleich zu beiden Kontrollgruppen. Diese Verzerrung sollte sich über das gesamte Zeitfenster früher Aufmerksamkeitsprozesse zeigen.

Im Versuch kausale Inferenzen aus dem Dissertationsprojekt zu ziehen, soll im nächsten Schritt eine mögliche essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung mithilfe eines Trainings modifiziert werden. Hierzu erfolgt eine randomisierte Zuteilung der Gruppe mit BES zu einer aktiven Trainingsbedingung oder einer Kontrollbedingung, in der keine Aufmerksamkeitsmodifikation erfolgen soll. Zunächst erwarten wir, dass die aktive Trainingsbedingung, nicht aber die Kontrollbedingung, in der Lage ist, die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung zu reduzieren. Gemäß dem theoretisch postulierten Mechanismus nehmen wir zudem an, dass eine Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung mit einer Reduktion der Esspathologie und des Cravings einhergeht. Die Verwendung eines aus mehreren Sitzungen bestehenden Trainings und reliabler, aggregierter und dynamischer Eye-Tracking Maße erlaubt dabei, im Vergleich zu bisherigen Trainingsstudien mit Personen mit BES, eine präzisere und differenziertere Abbildung der Aufmerksamkeitsverzerrung. Diese differenziertere Abbildung ermöglicht eine genauere Untersuchung der Mechanismen, die der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung und deren Modifikation unterliegen.

Methoden

Proband*innen

Proband*innen zwischen 18 und 69 Jahren wurden zeitgleich an zwei Standorten in Tübingen und Freiburg über Anzeigen in lokalen Zeitungen, Flyer in Arztpraxen und E-Mail-Verteiler der Universitäten rekrutiert. Die Stichprobe mit BES bestand aus 66 Personen, die die BES-Kriterien des Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5; American Psychiatric Association, 2013) erfüllten. Personen mit einem Body-Mass-Index (BMI) über 45 kg/m² wurden von einer Teilnahme ausgeschlossen.

Die Kontrollgruppe mit Übergewicht (n = 28) wurde hinsichtlich des BMI zur Stichprobe mit BES gematched. Die Stichprobe mit Normalgewicht (n = 30) wurde in einem BMI-Bereich von 17,5 kg/m² bis 24,9 kg/m² rekrutiert. Zentrales Ausschlusskriterium beider Kontrollgruppen stellte die Diagnose einer Essstörung jemals im Leben dar. Ausschlusskriterien für alle Gruppen waren Drogenmissbrauch oder -abhängigkeit, eine bipolare Störung, aktuelle Psychosen oder Schizophrenie, aktuelle Suizidgedanken, Schwangerschaft, Stillzeit, schwere körperliche Erkrankungen und Augenkrankheiten sowie die aktuelle Teilnahme an einer Psychotherapie oder einem Gewichtsreduktionsprogramm.

Die BES-Diagnose wurde durch die Eating Disorder Examination (EDE; Fairburn et al., 2008; deutsche Version: Hilbert et al., 2004) gestellt. Die übrigen Diagnosen wurden durch die Durchführung des Strukturierten Klinischen Interviews für DSM-IV (SKID) für Achse I (First et al., 1996; deutsche Version: Wittchen et al., 1997) und Achse II (First et al., 1997; deutsche Version: Fydrich et al., 1997) ermittelt.

Alle drei Gruppen bearbeiteten das Go/No-Go-Paradigma, wohingegen nur Personen aus der Gruppe mit BES anschließend randomisiert der aktiven AMT-Bedingung oder der Kontrolltrainingsbedingung zugewiesen wurden. Aufgrund der Datenqualität gingen nur 60 der 66 Personen mit BES in die Auswertung der EEG-Daten ein. Die deskriptiven Stichprobenmerkmale aller drei Gruppen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die deskriptiven Stichprobenmerkmale der am Training teilnehmenden Gruppe mit BES, aufgetrennt nach Trainingsbedingung, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1

Deskriptive Stichprobenmerkmale aufgetrennt nach Gruppe, für metrische Größen mit Standardabweichungen in Klammern.

Gruppe	BES	Übergewicht	Normalgewicht
Alter	37.13 (14.47)	34.93 (14.41)	27.37 (9.63)
Bei Geburt zugewiesenes Geschlecht (w / m)	50 / 10	19 / 9	24 / 6
BMI	29.42 (5.99)	28.61 (3.50)	21.69 (1.74)
BDI-II	14.13 (10.55)	2.56 (4.48)	2.14 (3.45)
EDE-Q	3.74 (1.10)	1.66 (0.66)	1.33 (0.40)
Anzahl OE in vergangenen 3 Monaten	40.76 (31.87)	0	0
Prozentsatz Anteil komorbide Achse-I Störung	40.0	14.3	6.7
Prozentsatz Anteil komorbide Achse-II Störung	13.3	7.1	0.0

Anmerkung. BES = Binge Eating Störung; w = weiblich; m = männlich; BMI = Body-Mass-Index; BDI-II = Beck Depression Inventory-II; EDE-Q = Eating Disorder Examination – Questionnaire; OE = Objektive Essanfälle.

Tabelle 2

Deskriptive Stichprobenmerkmale aufgetrennt nach Trainingsbedingung, für metrische Größen mit Standardabweichungen in Klammern.

Gruppe	Aktiv	Kontrolle
Alter	39.08 (15.20)	37.30 (14.72)
Bei Geburt zugewiesenes	35 / 4	20 / 7
Geschlecht (w / m)		
BMI	28.38 (5.41)	30.98 (6.24)
BDI-II	13.53 (10.66)	16.44 (10.65)
EDE-Q	3.42 (1.05)	4.28 (0.98)
Anzahl OE in vergangenen 3 Monaten	43.00 (35.75)	38.12 (22.02)
Prozentsatz Anteil komorbide Achse-I Störung	38.46	44.44
Prozentsatz Anteil komorbide Achse-II Störung	10.26	18.52

Anmerkung. w = weiblich; m = männlich; BMI = Body-Mass-Index; BDI-II = Beck Depression Inventory-II; EDE-Q = Eating Disorder Examination – Questionnaire; OE = Objektive Essanfälle.

Material

Go/No-Go-Paradigma mit EEG

Proband*innen bearbeiteten ein farbbasiertes Go/No-Go-Paradigma, während synchron EEG aufgezeichnet wurde. Dieses Paradigma stellt eine modifizierte Version der in Grubert und Eimer (2013) verwendeten Aufgabe dar. In jedem Durchgang wurden zwei verschiedene Stimuli gleichzeitig auf der linken und rechten Seite eines Fixationskreuzes vor einem neutralen, grauen Hintergrund präsentiert. Die Stimuli bestanden aus Zielziffern (Zahlen 1 - 4 in der Zielfarbe), Distraktorziffern (Zahlen 1 - 4 in der Distraktorfarbe), 28 Distraktorbildern von Essen (hochkalorische Nahrungsmittel) und 28 Distraktorbildern von Nichtessen (Büroartikel). Aus den vier Stimuluskategorien ergaben sich sechs mögliche Kombinationen von Stimuli aus verschiedenen Kategorien (1: *Zielziffer × Distraktorziffer*; 2: *Zielziffer × Essens-Distraktorbild*; 3: *Zielziffer × Nichtessens-Distraktorbild*; 4: *Distraktorziffer × Essens-Distraktorbild*; 5: *Distraktorziffer × Nichtessens-Distraktorbild*; 6: *Essens-Distraktorbild × Nichtessens-Distraktorbild*).

Als Zielfarbe wurde entweder türkis oder lila verwendet, wobei die verbleibende Farbe automatisch als Distraktorfarbe gewählt wurde. Die Zuordnung zu Ziel- und Distraktorfarbe wurde über alle Proband*innen hinweg ausbalanciert. In allen Durchgängen, in denen eine (Ziel- oder Distraktor-) Ziffer präsentiert wurde, konnte diese mit identischer Wahrscheinlichkeit eine der ganzen Zahlen zwischen 1 und 4 annehmen. In Durchgängen, in denen simultan eine Ziel- *und* eine Distraktorziffer präsentiert wurde, waren die präsentierten Zahlen immer voneinander verschieden. Proband*innen bearbeiteten die Aufgabe mithilfe vierer Tasten auf einem RB-840 Response Pad (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA). Jeder der vier Tasten auf dem Response Pad wurde eine der Ziffern zwischen 1 und 4 zugeordnet. Proband*innen wurden instruiert, die zugehörige Taste auf dem Response Pad zu drücken, wenn eine Zielziffer präsentiert wurde, und ansonsten nicht zu reagieren.

Alle verwendeten Bilder wurden von Shutterstock erworben (Shutterstock, Inc., New York, NY, USA). Die Bildgröße betrug 300 x 500 Pixel und alle Bilder waren hinsichtlich ihrer Luminanz gematched. Jedes Stimuluspaar wurde für 150 Millisekunden präsentiert, gefolgt von einem Interstimulusintervall zufälliger Dauer zwischen 2.0 und 2.2 Sekunden. Nach der Bearbeitung von 12 Übungsdurchgängen, führten Proband*innen die Aufgabe allein in einer abgeschirmten EEG-Kabine durch.

In der experimentellen Aufgabe wurde jedes Bild zweimal auf jeder Seite in jeder Bedingung präsentiert. Daraus resultierten insgesamt 672 Durchgänge. Die Aufgabe wurde in vier identisch lange Blocks unterteilt. Nach jedem Block konnte eine kurze Pause gemacht werden.

AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking

Beide Trainingsbedingungen bestanden aus vier etwa wöchentlich durchgeführten Sitzungen eines modifizierten DPP. In beiden Trainingsbedingungen wurden in jeder Sitzung insgesamt 30 Bildpaare mehrfach präsentiert. Jedes dieser Bildpaare setzte sich aus einem hochkalorischen Nahrungsmittelbild (vor allem süße Snacks) sowie einem Nichtessensbild (beispielsweise ein Holzsplitter oder ein Autoreifen) zusammen. In jedem Bildpaar waren beide Bilder jeweils nach Farbe, Komplexität, Luminanz und Größe gematched. Auch die im Training verwendeten Bilder wurden von Shutterstock erworben (Shutterstock, Inc., New York, NY, USA), diese überschneiden sich allerdings nicht mit den im Go/No-Go-Paradigma verwendeten Stimuli.

Jeder Experimentaldurchgang folgte einem identischen Ablauf. Zunächst wurde ein Fixationskreuz in der Bildschirmmitte präsentiert. Dieses wurde dann durch eines der 30 Bildpaare abgelöst, wobei ein Bild oben auf dem Bildschirm und das andere unten auf dem Bildschirm präsentiert wurde. Jedes Bildpaar wurde für 600 Millisekunden präsentiert. Nach deren Präsentationsdauer wurde nur eines der Bilder durch einen Kreis, der als *Probe* diente, ersetzt. Proband*innen wurden instruiert, auf die Position des Probes (oben oder unten) durch das Drücken einer räumlich kongruenten Taste auf einem RB-840 Response Pad (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA) zu reagieren. Jede Sitzung bestand aus vier Übungsdurchgängen, auf die drei verschiedene Experimentalphasen folgten: Prä-Baseline, Training, Post-Baseline. Sowohl im AMT als auch im Kontrolltraining bestanden die Prä- und Post-Baseline Phasen aus je 120 Durchgängen, in denen der Probe gleich wahrscheinlich ein Essens- oder ein Nichtessensbild ersetzt wurde. Während die Prä- und Post-Baseline Phasen demnach in beiden Bedingungen identisch waren, unterschieden sich die 600 Experimentaldurchgänge der Trainings-Phase zwischen den Bedingungen. Im Kontrolltraining folgte der Probe wiederum mit gleicher Wahrscheinlichkeit auf Essens- und Nichtessensbilder (also identisch mit Prä- und Post-Baseline Phasen). In der Trainingsphase des AMT hingegen wurde der Probe in 90 % der Fälle das

Nichtessensbild und nur in 10 % der Fälle das Essensbild. Durch diese Verschiebung der Kontingenzen wurde eine Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung angestrebt. Die Bildpaare wurden in pseudorandomisierter Reihenfolge präsentiert, wobei kein Bildpaar in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen präsentiert wurde. Zudem erschien der Probe maximal in vier aufeinanderfolgenden Durchgängen an derselben Position (oben oder unten).

Bogus Taste Test

Wir verwendeten einen Bogus Taste Test als validiertes und häufig eingesetztes Verhaltensmaß für das Essverhalten unter Laborbedingungen (z. B. Svaldi, Tuschen-Caffier et al., 2014; Vöhringer et al., 2023). Sechs verschiedene hochkalorische Snacks wurden in Schalen vor die Proband*innen gestellt (würzig ummantelte Erdnüsse [540 kcal pro 100 g], schokoladenummantelte Erdnüsse [500 kcal pro 100 g], gesalzene Mini-Brezeln [401 kcal pro 100 g], Mini-Butterkekse mit Schokolade [479 kcal pro 100 g], würzige Kartoffelstäbchen [508 kcal pro 100 g] und Mini-Schokoladenkekse [495 kcal pro 100 g]). Die Schalen waren kreisförmig angeordnet und enthielten abwechselnd süße und salzige Snacks. Innerhalb dieses abwechselnden Musters wurde die Reihenfolge der Snacks für alle Proband*innen randomisiert. Nach einer ausführlichen Instruktion wurden Proband*innen für 20 Minuten mit der Aufgabe allein gelassen, jeden Snack auf neun visuellen Analogskalen (z.B. Süße, Salzigkeit und Würzigkeit) zu bewerten. Dabei wurde zum einen die Wichtigkeit betont, die Aufgabe gewissenhaft zu bearbeiten. Zum anderen wurde betont, dass Proband*innen sowohl im Rahmen der Aufgabe als auch nach Abschluss der Bewertungen nach Belieben essen konnten. Jede Schale wurde vor und nach dem Bogus Taste Test verdeckt gewogen, um die verbrauchten Kilokalorien für jede*n Proband*in zu berechnen. Proband*innen wurden nach ihrer Teilnahme über den tatsächlichen Zweck des Bogus Taste Tests aufgeklärt.

Fragebögen

Zu Beginn und am Ende jeder Trainingssitzung sowie vor und nach dem Go/No-Go-Paradigma gaben Proband*innen ihren aktuellen Grad an Craving mit einer deutschen Version des modifizierten State Food-Craving Questionnaires (FCQ-S; Cepeda-Benito et al., 2000; modifizierte Version: Nijs et al., 2007; deutsche Version: Meule et al., 2012) an. Der Fragebogen besteht aus 15 Fragen mit einer fünfstufigen

Likert-Skala (von 1 bis 5). Die interne Konsistenz war zu allen Messzeitpunkten exzellent ($\alpha \geq .95$).

Die Esspathologie im Selbstbericht wurde mit dem Eating Disorder Examination-Questionnaire (EDE-Q; Fairburn et al., 1994; deutsche Version: Hilbert et al., 2007) erfragt. Der EDE-Q besteht aus 28 Items zur Erfassung der Esspathologie über die letzten vier Wochen. Aus 22 dieser Items (jeweils Rating von 0 bis 6) kann ein Gesamtscore berechnet werden, der sich aus den Subskalen Restraint, Eating Concern, Weight Concern und Shape Concern zusammensetzt. Die interne Konsistenz des Fragebogens war in unserer Stichprobe ausgezeichnet ($\alpha = .90$).

Depressivität im Selbstbericht wurde mit der deutschen Version des Beck Depression Inventory-II (BDI-II; Beck et al., 1996; deutsche Version: Hautzinger et al., 2006) erhoben. Der BDI-II erfragt depressive Symptome der letzten zwei Wochen über 21 Items. Die interne Konsistenz in unserer Stichprobe war mit $\alpha = .93$ ausgezeichnet.

Ablauf

Vor der Datenerhebung wurden alle potenziellen Proband*innen per Telefoninterview zu sämtlichen Ein- und Ausschlusskriterien befragt. Alle geeigneten Proband*innen wurden nachfolgend zu einem persönlichen diagnostischen Interview via SKID und EDE eingeladen (Fydrich et al., 1997; Hilbert et al., 2004; Wittchen et al., 1997). Zu diesem Termin wurden ebenfalls Gewicht und Größe erfasst sowie die schriftliche Einwilligung eingeholt. Depressivität und Esspathologie im Selbstbericht wurden mittels Online-Fragebögen (BDI-II, Hautzinger et al., 2006; EDE-Q, Hilbert et al., 2007) im Anschluss an das diagnostische Interview erhoben. An einem separaten Termin *nach* der Diagnostik und *vor* der Durchführung des Go/No-Go-Paradigmas bearbeiteten alle Proband*innen ein weiteres Paradigma. In diesem wurde die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung mithilfe eines unmodifizierten DPP bei simultaner Aufzeichnung von Eye-Tracking erfasst. Die Ergebnisse dieses Paradigmas sind nicht Teil der vorliegenden Dissertation.

Der Termin des Go/No-Go-Paradigmas wurde für alle Proband*innen zwischen 8 und 10 Uhr morgens angesetzt. Proband*innen wurden angewiesen, am Abend vor dem Termin ab 22 Uhr auf jegliche Nahrung zu verzichten. Unmittelbar vor dem Go/No-Go-Paradigma erhielten Proband*innen ein standardisiertes Frühstück, das aus zwei Brötchen mit Belag bestand. Hiermit wurde ein vergleichbarer Sättigungsgrad aller

Proband*innen angestrebt. Im Anschluss an das Frühstück wurden die Elektroden angebracht und die Proband*innen in eine schwach beleuchtete, schallgedämpfte Kabine begleitet, wo das Go/No-Go-Paradigma bearbeitet wurde. Proband*innen saßen etwa 60 cm vom Bildschirm entfernt und legten beide Zeige- und Mittelfinger auf die vier Tasten des Response Pads (linker Mittelfinger auf 1, linker Zeigefinger auf 2, rechter Zeigefinger auf 3 und rechter Mittelfinger auf 4). Vor und nach dem Go/No-Go-Paradigma schätzten Proband*innen ihren aktuellen Grad des Cravings mithilfe des FCQ-S (Meule et al., 2012) ein. Nach Bearbeitung des Go/No-Go-Paradigmas bewerteten Proband*innen alle zuvor gezeigten Bilder hinsichtlich Valenz, Arousal und Schmackhaftigkeit auf drei visuellen Analogskalen von 0,00 bis 1,00. Die Dauer der gesamten Prozedur betrug etwa zwei Stunden.

Nach Abschluss des Go/No-Go-Paradigmas wurden ausschließlich Personen aus der Gruppe mit BES randomisiert der aktiven AMT-Bedingung oder dem Kontrolltraining zugewiesen. Beide Trainingsbedingungen bestanden aus je vier Trainingssitzungen, die über die nächsten vier Wochen durchgeführt wurden. Ausschließlich die letzte Trainingssitzung wurde zwischen 8 und 10 Uhr morgens angesetzt. Vor dieser letzten Sitzung nahmen Proband*innen, wie vor dem Go/No-Go-Paradigma, ein aus zwei Brötchen mit Belag bestehendes standardisiertes Frühstück zu sich. Unmittelbar nach der letzten Trainingssitzung absolvierten Proband*innen den Bogus Taste Test. Abgesehen vom zusätzlichen Frühstück und Bogus Taste Test am letzten Termin folgten alle Trainingssitzungen einem identischen Ablauf. Nach einer Begrüßung wurden Proband*innen in das Labor geführt und mit einer Entfernung von ca. 60 cm vor den Bildschirm gesetzt. Vor und nach jeder Bearbeitung des Trainings schätzten Proband*innen ihren aktuellen Grad des Cravings mithilfe des FCQ-S (Meule et al., 2012) ein. Anschließend wurde vor Beginn des eigentlichen Trainings eine Fünf-Punkt-Kalibrierung des 250 Hertz iView RED Eye-Trackers durchgeführt. Dann legten Proband*innen die Zeigefinger beider Hände auf die beiden Tasten des Response Pads, um die Aufgabe zu bearbeiten. Die Dauer der ersten drei Trainingssitzungen betragen jeweils etwa 30 bis 45 Minuten, die Dauer des letzten Termins mit Frühstück und Bogus Taste Test etwa 75 bis 90 Minuten.

Nach der letzten Trainingssitzung wiederholten Proband*innen der Gruppe mit BES an separaten Terminen die beiden zuvor durchgeführten Paradigmen (unmodifiziertes DPP mit Eye-Tracking und Go/No-Go-Paradigma mit EEG), deren

Ergebnisse wiederum nicht Teil dieser Dissertation sind. Kurz nach dem letzten experimentellen Termin wurde an einem separaten Tag erneut ein diagnostisches Interview mittels EDE mit allen Proband*innen der Gruppe mit BES durchgeführt. Dieses Interview wurde nach drei Monaten erneut wiederholt.

Datenaufbereitung

Go/No-Go-Paradigma mit EEG

Das EEG wurde mit 64 aktiven Ag/AgCl-Elektroden auf einem actiCHamp- und einem QuickAmp-Verstärker (Brain Products GmbH, Gilching, Deutschland) aufgezeichnet, wobei die Impedanzen unter 15 k Ω gehalten wurden. Beim actiCHamp wurde eine Online-Referenz am linken Ohrläppchen verwendet, beim QuickAmp diente der gemeinsame Mittelwert als Online-Referenz. In beiden Fällen wurde der gemeinsame Mittelwert als Offline-Referenz verwendet. Die Messfrequenz des EEG betrug 500 Hz. Zur späteren Korrektur von Augenartefakten (Gratton et al., 1983) wurden passive Elektroden zur Aufzeichnung der Augenbewegungen verwendet. Dazu wurden zwei Elektroden über und unter dem rechten Auge und zwei weitere an den äußeren Canthi jedes Auges angebracht. Die Daten wurden im Falle übermäßiger Spannungssprünge ($> 100 \mu\text{V}/\text{ms}$), übergroßer Wertedifferenzen ($> 200 \mu\text{V}$ in 200 ms-Intervallen) und geringer Elektrodenaktivität ($< 0,5 \mu\text{V}/100 \text{ms}$) ausgeschlossen. Es wurde ein Bandpassfilter von 0,1 - 30 Hz angewendet. Anschließend wurden weiteres Rauschen und Bewegungsartefakte manuell entfernt. Dann wurden Daten auf den Durchschnitt aller aufgezeichneten Kanäle re-referenziert. Alle EEG-Daten aus Durchgängen mit inkorrekt behavioraler Reaktion wurden ausgeschlossen.

Die Daten wurden anschließend in 1.200 ms-Epochen segmentiert, beginnend 200 ms vor Start eines jeden Durchgangs. Diese 200 ms vor Start des Durchgangs dienten als Baseline-Korrektur. Zuletzt wurden die Epochen aller Durchgänge mit identischen Kombinationen von Stimulustypen (z.B. alle Durchgänge, in denen links eine Zielziffer und rechts eine Distraktorziffer präsentiert wurde) für jede Person gemittelt.

In Übereinstimmung mit den Empfehlungen von Luck und Gaspelin (2017) wurden die Zeitfenster der verschiedenen EEG-Komponenten literaturbasiert definiert (N2pc: Grubert & Eimer 2013; P300: Biehl et al., 2019; LPP: Svaldi et al., 2010). Die

Berechnung der N2pc erfolgte basierend auf den mittleren Amplituden zwischen 180 und 280 ms nach Stimulusbeginn an den lateralen posterioren Elektroden PO7 und PO8. Zur Analyse der P300 wurden die Kanäle Oz, O1, O2, POz, PO3 und PO4 im Zeitfenster zwischen 300 und 360 ms nach Stimulusbeginn ausgewählt und gemittelt. Für die statistische Analyse des LPP wurden die mittleren Amplituden der Elektrodenpositionen C3, C4, CP1, Cz, CP2 und Pz im Zeitfenster zwischen 500 und 800 ms extrahiert.

AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking

Die Eye-Tracking Daten wurden in BeGaze (SensoMotoric Instruments) vorverarbeitet. Fixationen wurden mit einer Mindestdauer von 100 ms definiert (Baur et al., 2022). Um jeden Stimulus wurden Areas of Interest eingezeichnet, die entweder der Bildkategorie Essen oder Nichtessen zugeordnet wurden. Für jeden Durchgang wurden jeweils die Erstfixation sowie die Gesamtblickdauer pro Area of Interest extrahiert.

Für die Analyse von Erstfixationen wurden Durchgänge ausgeschlossen, in denen weder das Essens- noch das Nichtessensbild fixiert wurden. Für die verbleibenden Durchgänge wurde binomial klassifiziert, ob das Essensbild (kodiert als 1) oder das Nichtessensbild (kodiert als 0) zuerst fixiert wurde. Diese Klassifizierung wurde direkt als Input für die durchgeführten logistischen Regressionsmodelle verwendet, in denen die Wahrscheinlichkeit einer Erstfixation auf Essensbilder geschätzt wurde.

Als Maß für die Aufmerksamkeitsverzerrung in der Gesamtblickdauer berechneten wir für alle Proband*innen in jedem Durchgang:

$$\text{Gesamtblickdauer}_{\text{Verzerrung}} = \text{Gesamtblickdauer}_{\text{Essensbild}} - \text{Gesamtblickdauer}_{\text{Nichtessensbild}}$$

Somit kennzeichnen höheren Werte eine stärkere essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung.

Für die Variabilität der Gesamtblickdauer-Verzerrung berechneten wir die absolute Differenz zwischen der Gesamtblickdauer-Verzerrung in jedem Durchgang und der Gesamtblickdauer-Verzerrung im nachfolgenden Durchgang.

Reaktionszeitdaten wurden direkt durch das experimentelle Paradigma ausgegeben. Zur Berechnung der reaktionszeitbasierten Aufmerksamkeitsverzerrung wurde zunächst für jeden Probanden und jede Probandin in jeder Sitzung die mittlere

Reaktionszeit auf *Probes, die Essensbildern folgten* und die mittlere Reaktionszeit auf *Probes, die Nichtessensbildern folgten* berechnet. Anschließend wurden die individuellen Werte der Aufmerksamkeitsverzerrung wie folgt berechnet:

$$\text{Reaktionszeit}_{\text{Verzerrung}} = \text{Reaktionszeit}_{\text{Nichtessensbild}} - \text{Reaktionszeit}_{\text{Essensbild}}$$

Auch hier kennzeichnen höhere Werte wiederum eine stärkere essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung.

Durchgänge mit Reaktionszeiten über 2000 ms und unter 200 ms sowie Durchgänge mit inkorrekten Reaktionen wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Statistische Analyse

Das Alphaniveau aller statistischen Analysen wurde auf $\alpha = .05$ gesetzt.

Go/No-Go-Paradigma mit EEG

Die mittlere Aktivität jedes einzelnen ausgewählten Kanals wurde für alle Versuchsteilnehmenden getrennt exportiert und in R (R Core Team, 2024) weiter analysiert. Für alle Analysen wurden die mittleren Amplituden mit linearen gemischten Modellen analysiert. Hierfür wurde das lme4-Paket verwendet (Bates et al., 2015). Bestpassende Modelle wurden jeweils durch Likelihood-Quotienten-Test selektiert.

Um unsere erste N2pc-Hypothese (H1) zu testen, wurden nur No-Go-Durchgänge mit *sowohl* einem Essens-Distraktorbild *als auch* einem Nichtessens-Distraktorbild ausgewählt. Für jeden Experimentaldurchgang berechneten wir die Differenz zwischen der Amplitude kontralateral und der Amplitude ipsilateral zum Essens-Distraktorbild (d.h. wenn das Essens-Distraktorbild auf der linken Seite präsentiert wurde, berechneten wir PO8 - PO7, wenn es auf der rechten Seite war, PO7 - PO8). *Gruppe* (BES / Übergewicht / Normalgewicht) wurde als Zwischensubjektfaktor dem Modell hinzugefügt. Anschließend wurde getestet, ob der Haupteffekt der *Gruppe* die berechnete Differenz über die Präsentationsseiten gemittelt signifikant beeinflusste.

Zur Analyse der zweiten N2pc-Hypothese (H2) wurden nur Go-Durchgänge ausgewählt, die entweder ein Essens-Distraktorbild *oder* ein Nichtessens-Distraktorbild enthielten. Für jeden Durchgang berechneten wir die Differenz zwischen der Amplitude kontralateral minus der Amplitude ipsilateral des Targets (durch Target ausgelöste N2pc). *Gruppe* (BES / Übergewicht / Normalgewicht) wurde

als Zwischensubjektfaktor dem Modell hinzugefügt. Der *Distraktortyp* (Essens-Disktraktorbild / Nichtessens-Disktraktorbild) wurde als Innersubjektfaktor aufgenommen. Es wurde getestet, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Distraktortyp* die berechnete Differenz signifikant beeinflusste.

Für die P300- und LPP-Analysen (H3 und H4) wurden sowohl Go- als auch No-Go-Durchgänge mit einem Essens-Disktraktorbild oder einem Nichtessens-Disktraktorbild analysiert. *Gruppe* (BES / Übergewicht / Normalgewicht) wurde als Zwischensubjektfaktor dem Modell hinzugefügt. *Distraktortyp* (Essens-Disktraktorbild / Nichtessens-Disktraktorbild) und *Art des Durchgangs* (Go- / No-Go-Durchgang) wurden als Innersubjektfaktoren aufgenommen. In einem ersten Schritt wurde auf eine Dreifachinteraktion zwischen *Gruppe*, *Distraktortyp* und *Art des Durchgangs* getestet. Im Falle einer signifikanten Dreifachinteraktion wurden Go- und No-Go-Durchgänge getrennt analysiert. Für beide Arten des Durchgangs wurde dann geprüft, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Distraktortyp* die an den jeweiligen Elektrodenpositionen gemessene Amplitude signifikant beeinflusste.

Für die Analyse der Craving-Daten (H5) wurde *Gruppe* (BES / Übergewicht / Normalgewicht) als Zwischensubjektfaktor und *Messzeitpunkt* (vor / nach dem Experiment) als Innersubjektfaktor in die Modelle aufgenommen. Wir testeten, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Messzeitpunkt* das Craving signifikant vorhersagte.

Zur Analyse der Valenz-, Arousal- und Schmackhaftigkeitsratings wurde *Gruppe* (BES / Übergewicht / Normalgewicht) als Zwischensubjektfaktor und *Stimulusart* (Essen / Nichtessen) als Innersubjektfaktor dem Modell hinzugefügt. Wir testeten explorativ, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Stimulusart* die Ratings signifikant vorhersagte.

Im Falle signifikanter Zweifachinteraktionen wurden Unterschiede innerhalb der Gruppen post-hoc über geschätzte marginale Mittelwerte mit dem emmeans-Paket (Lenth, 2022) untersucht.

Zuletzt wurden Pearson-Korrelationen zwischen der über den EDE-Q gemessenen Esspathologie und den essensbezogenen P300- sowie LPP-Amplituden berechnet und deskriptiv analysiert.

AMT und Kontrolltraining mit Eye-Tracking

Die exportierten Eye-Tracking Daten aller Proband*innen wurden in R (R Core Team, 2024) weiterverarbeitet und analysiert. Für die gemischten Modellanalysen wurde wiederum das Paket lme4 (Bates et al., 2015) und für die Visualisierung der Daten ggplot2 (Wickham, 2016) und corrplot (Wei & Simko, 2021) verwendet.

Für kontinuierliche abhängige Variablen verwendeten wir erneut lineare gemischte Modelle und im Falle binomialverteilter abhängiger Variablen verallgemeinerte lineare gemischte Modelle, wobei die Logit-Funktion als Linkfunktion diente. Wann immer es die Datenstruktur implizierte, wurden a priori zufällige y-Achsenabschnitte zu den gemischten Modellen hinzugefügt und getestet, ob das Ergänzen von zufälligen Steigungen für jede*n Proband*in die Modellanpassung signifikant verbesserte.

Für jede Hypothese testeten wir mittels Likelihood-Quotienten-Test, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* (Kontrolltraining / AMT) und *Trainingssitzung* (1 / 2 / 3 / 4) die abhängige Variable (z. B. mittlere über die Reaktionszeit gemessenen Aufmerksamkeitsverzerrung für H6a) signifikant vorhersagte. Um Craving-Effekte *innerhalb* der Trainingssitzungen zu testen, wurde stattdessen auf eine Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* (Kontrolltraining / AMT) und *Zeit* (vor / nach dem Experiment) getestet. Für die Anzahl objektiver Essanfälle testeten wir, ob die Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* (Kontrolltraining / AMT) und dem *Zeitpunkt des Interviews* (vor Training / nach Training / 3-Monats Follow-up; im Modell kodiert als numerischer Faktor 0 / 1 / 2) die Anzahl der objektiven Essanfälle signifikant vorhersagte.

Im Falle *nicht signifikanter* Zweifachinteraktionen, wurde mithilfe von Likelihood-Quotienten-Tests ebenso auf alle marginalen Haupteffekte getestet.

Unterschiede der konsumierten Kalorien im Bogus Taste Test zwischen den beiden *Trainingsbedingungen* (Kontrolltraining / AMT) wurden mithilfe eines Welch Zweistichproben t-Tests analysiert.

Zuletzt wurden paarweise Pearson-Korrelationen zwischen der Veränderung auf den verschiedenen Maßen der Aufmerksamkeitsverzerrung und der Veränderung der Anzahl an Essanfällen berechnet und deskriptiv analysiert.

Ergebnisse

Baseline-Vergleich der Aufmerksamkeitsverzerrung und des Cravings

N2pc in No-Go-Durchgängen (H1)

In No-Go-Durchgängen zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt der *Gruppe* auf die mittlere N2pc-Differenz, $\chi^2(2) = 1.29$, $p = .526$. Darüber hinaus war die Differenz zwischen der Amplitude kontralateral und der Amplitude ipsilateral zum Essens-Distraktorbild nicht verschieden von Null, $\chi^2(1) = 3.08$, $p = .079$. Diese Nulldifferenz zeigt an, dass es keinen Effekt des Distraktortyps auf die Differenz gab.

N2pc in Go-Durchgängen (H2)

In Go-Durchgängen zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und dem *Distraktortyp*, $\chi^2(2) = 9.81$, $p = .007$. Post-hoc Analysen bestätigten ausschließlich in der Kontrollgruppe mit Übergewicht einen Einfluss des Distraktortyps auf die N2pc-Differenz. In dieser Gruppe lösten Targets eine stärkere N2pc-Amplitude aus, wenn auf der anderen Seite ein Essensbild als Distraktor präsentiert wurde (im Vergleich zu einem Nichtessensbild), $z = 4.27$, $p < .001$. Demnach zogen in der Kontrollgruppe mit Übergewicht Nichtessensbilder entweder mehr Aufmerksamkeit auf sich, oder aber die Aufmerksamkeit auf Essensbilder wurde stärker inhibiert. Weder für die Gruppe mit BES, $z = 1.84$, $p = .065$, noch für die Kontrollgruppe mit Normalgewicht, $z = 0.11$, $p = .914$ ergaben sich signifikante Effekte des Distraktortyps.

P300 (H3)

Es zeigte sich eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen *Gruppe*, *Distraktortyp* und der *Art des Durchgangs* auf die mittlere P300-Amplitude, $\chi^2(2) = 90.75$, $p < .001$. Aufgrund dessen wurden Go- und No-Go-Durchgänge nachfolgend getrennt auf Zweifachinteraktionen hin analysiert.

In No-Go-Durchgängen zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Distraktortyp* auf die mittlere P300-Amplituden, $\chi^2(2) = 109.50$, $p < .001$. In der Gruppe mit BES sowie der Kontrollgruppe mit Normalgewicht zeigten sich stärkere P300-Amplituden für Essensbilder im Vergleich zu Nichtessensbildern, wohingegen sich dieser Effekt in der Kontrollgruppe mit Übergewicht umkehrte, alle $|z|s > 1.99$, alle $ps < .046$.

Auch in Go-Durchgängen zeigte sich eine Zweifachinteraktion zwischen *Gruppe* und *Distraktortyp*, $\chi^2(2) = 26.04$, $p < .001$. Die Gruppe mit BES reagierte mit stärkeren P300-Amplituden auf Essensbilder im Vergleich zu Nichtessensbildern, $z = -4.30$, $p < .001$. In der Kontrollgruppe mit Normalgewicht zeigte sich der umgekehrte Effekt, $z = 3.21$, $p = .001$. Für die Kontrollgruppe mit Übergewicht zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied im post-hoc Vergleich, $z = -0.50$, $p = .614$.

LPP (H4)

Im Zeitfenster des LPP zeigte sich erneut eine Dreifachinteraktion zwischen *Gruppe*, *Distraktortyp* und der *Art des Durchgangs*, $\chi^2(2) = 20.51$, $p < .001$.

In No-Go-Durchgängen zeigte sich wiederum eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und dem *Distraktortyp*, $\chi^2(2) = 24.84$, $p < .001$. Die Gruppe mit BES, $z = -8.73$, $p < .001$, und die Kontrollgruppe mit Übergewicht, $z = -7.78$, $p < .001$, reagierten mit stärkeren LPP-Amplituden auf Essensbilder im Vergleich zu Nichtessensbildern. Für die Kontrollgruppe mit Normalgewicht zeigte sich hingegen kein signifikanter Unterschied zwischen Essens- und Nichtessensbildern, $z = -1.14$, $p = .256$.

Auch in Go-Durchgängen zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und dem *Distraktortyp* auf die LPP-Amplituden, $\chi^2(2) = 68.53$, $p < .001$. Die Kontrollgruppe mit Übergewicht reagierte mit stärkeren LPP-Amplituden auf Essensbilder, wohingegen die Gruppe mit BES und die Kontrollgruppe mit Normalgewicht mit stärkeren LPP-Amplituden auf Nichtessensbilder reagierten, alle $|z|s > 4.09$, alle $ps < .001$.

Craving (H5)

Es gab keine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und dem *Zeitpunkt der Abfrage* (vor oder nach dem Experiment) auf das Craving, $\chi^2(2) = 3.16$, $p = .206$. Beide Haupteffekte beeinflussten das Craving jedoch unabhängig voneinander, Gruppe: $\chi^2(2) = 38.48$, $p < .001$; Zeitpunkt: $\chi^2(1) = 5.31$, $p = .021$. Unabhängig vom Zeitpunkt der Abfrage berichtete die Gruppe mit BES ein stärkeres Craving als die Kontrollgruppe mit Übergewicht, $t(114) = -4.85$, $p < .001$, und die Kontrollgruppe mit Normalgewicht, $t(114) = 6.00$, $p < .001$. Die beiden Kontrollgruppen unterschieden sich nicht voneinander, $t(114) = 0.95$, $p = .611$. Für

alle Gruppen war das Craving bei der Abfrage nach dem Experiment höher als zuvor, $t(112) = 2.32, p = .022$.

Stimulusratings (Explorativ)

Es gab eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und der *Stimulusart* auf Valenzratings, $\chi^2(2) = 106.04, p < .001$. Alle Gruppen bewerteten Essensstimuli mit einer positiveren Valenz als Nichtessensbilder, alle $|z|s > 4.88$, alle $ps < .001$. Dieser Unterschied war in der Gruppe mit BES signifikant größer als in beiden Kontrollgruppen, die sich wiederum nicht voneinander unterschieden, BES vs. Übergewicht: $\chi^2(1) = 79.91, p < .001$; BES vs. Normalgewicht: $\chi^2(1) = 53.45, p < .001$; Übergewicht vs. Normalgewicht: $\chi^2(1) = 3.15, p = .076$.

Es gab eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und der *Stimulusart* auf Arousalratings, $\chi^2(2) = 412.54, p < .001$. Alle Gruppen bewerteten Essensbilder als aufregender im Vergleich zu Nichtessensbildern, alle $|z|s > 11.13$, all $ps < .001$. Der Unterschied war in der Gruppe mit BES größer als in beiden Kontrollgruppen, BES vs. Übergewicht: $\chi^2(1) = 312.88, p < .001$; BES vs. Normalgewicht: $\chi^2(1) = 194.01, p < .001$. Die Differenz in der Kontrollgruppe mit Normalgewicht war wiederum größer als die Differenz in der Kontrollgruppe mit Übergewicht, $\chi^2(1) = 15.31, p < .001$.

Es gab eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Gruppe* und der *Stimulusart* auf Schmackhaftigkeitsratings, $\chi^2(2) = 198.15, p < .001$. Alle Gruppen bewerteten Essensbilder als schmackhafter im Vergleich zu Nichtessensbildern, alle $|z|s > 40.50$, all $ps < .001$. Der Unterschied war in der Gruppe mit BES größer als in beiden Kontrollgruppen, BES vs. Übergewicht: $\chi^2(1) = 185.22, p < .001$; BES vs. Normalgewicht: $\chi^2(1) = 50.89, p < .001$. Die Differenz in der Kontrollgruppe mit Normalgewicht war wiederum größer als die Differenz in der Kontrollgruppe mit Übergewicht, $\chi^2(1) = 34.05, p < .001$.

Korrelationen der subjektiven Esspathologie und späten EKPs (Explorativ)

Für keine der Gruppen zeigten sich bedeutsame Korrelationen zwischen den Werten im EDE-Q und den essensbezogenen P300-Amplituden, weder in Go noch in No-Go Durchgängen, alle $|r|s \leq .17$. Für essensbezogene LPP-Amplituden zeigte sich nur für die Kontrollgruppe mit Normalgewicht ausschließlich in No-Go Durchgängen eine

schwach negative Korrelation mit den EDE-Q-Werten, $r = -.30$. Alle übrigen Korrelationen waren wiederum nicht bedeutsam, alle $|r|s \leq .09$.

Modifikation der Aufmerksamkeitsverzerrung, Veränderung des Cravings und des Essverhaltens

Reaktionszeit (H6a und H6b)

Es gab keine signifikante Zweifachinteraktion zwischen der *Trainingsbedingung* und der *Trainingssitzung* für die mittlere, über die Reaktionszeit gemessene Aufmerksamkeitsverzerrung, $\chi^2(1) = 0.66$, $p = .417$. Ebenso gab es keinen signifikanten Haupteffekt der Trainingssitzung, $\chi^2(1) = 0.93$, $p = .335$. Allerdings zeigte die aktive Trainingsbedingung über alle Sitzungen hinweg eine stärkere mittlere Reaktionszeit-Verzerrung hin zu neutralen Stimuli als die Kontrollgruppe, $\chi^2(1) = 7.57$, $p = .006$. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen für alle Probandinnen und Probanden verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 8.86$, $p = .012$. Es gab eine moderat negative Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = -.36$).

Auch für die Variabilität der Reaktionszeit-Verzerrung zeigte sich keine Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung*, $\chi^2(1) = 0.09$, $p = .766$. Das bestpassende Modell beinhaltete nur einen Haupteffekt der Trainingssitzung, dahingehend, dass die Variabilität in beiden Gruppen über die Sitzungen hinweg abnahm, $\chi^2(1) = 626.86$, $p < .001$. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 707.03$, $p < .001$. Es gab eine stark negative Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = -.70$).

Gesamtblickdauer (H7a und H7b)

Im Gegensatz zu den reaktionszeitbasierten Ergebnissen zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung* für die mittlere, über die Gesamtblickdauer gemessene Aufmerksamkeitsverzerrung, $\chi^2(1) = 35.11$, $p < .001$. Die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung reduzierte sich ausschließlich in der aktiven Trainingsgruppe über die Sitzungen hinweg. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 751.86$, $p < .001$. Es gab eine stark negative Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = -.54$).

Weiter zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung* für die Variabilität der über die Gesamtblickdauer gemessenen Aufmerksamkeitsverzerrung, $\chi^2(1) = 58.25$, $p < .001$. Die Variabilität reduzierte sich in der aktiven Trainingsbedingung stärker als im Kontrolltraining. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 106.21$, $p < .001$. Es gab eine stark negative Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = -.78$).

Erstfixationshäufigkeit (H8)

Auch auf dem Maß der Erstfixationshäufigkeit zeigte sich eine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung*, $\chi^2(1) = 16.98$, $p < .001$. Die Wahrscheinlichkeit einer Erstfixation auf Essen reduzierte sich nur in der aktiven Trainingsbedingung, nicht aber im Kontrolltraining. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 106.22$, $p < .001$. Es gab keine bedeutsame Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = .07$).

Craving (H9)

Für die Effekte über Trainingssitzungen hinweg zeigte sich bezüglich des Cravings keine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung* $\chi^2(1) = 0.49$, $p = .484$. Es trat aber ein Haupteffekt der Trainingssitzung auf, dahingehend, dass das Craving in beiden Trainingsbedingungen über die Sitzungen hinweg abnahm, $\chi^2(1) = 83.97$, $p < .001$. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung signifikant, $\chi^2(2) = 33.03$, $p < .001$. Es gab eine stark negative Korrelation zwischen den zufälligen y-Achsenabschnitten und den zufälligen Steigungen ($r = -.76$).

Für die Effekte *innerhalb* der Trainingssitzungen gab es keine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Trainingssitzung* $\chi^2(1) < 0.01$, $p = .964$. Zudem zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt der Zeit, $\chi^2(1) = 3.81$, $p = .051$.

Zuletzt gab es keinen signifikanten Haupteffekt der Trainingsbedingung, $\chi^2(1) = 0.49$, $p = .484$.

Essverhalten (H10a und H10b)

Ebenso gab es keine signifikante Zweifachinteraktion zwischen *Trainingsbedingung* und *Zeitpunkt des Interviews* auf die Anzahl objektiver Essanfälle, $\chi^2(1) = 0.18$, $p = .671$. Zudem gab es keinen signifikanten Haupteffekt der Trainingsbedingung, $\chi^2(1) = 0.21$, $p = .644$. Allerdings zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des Zeitpunkts des Interviews, $\chi^2(1) = 40.72$, $p < .001$. Die Anzahl objektiver Essanfälle reduzierte sich für beide Gruppen von der Diagnostik vor dem Training, zur Diagnostik nach dem Training und zur Diagnostik zum 3-Monats Follow-up-Zeitpunkt. Das Hinzufügen von zufälligen Steigungen verbesserte die Modellpassung nicht signifikant, $\chi^2(2) = 2.46$, $p = .292$.

Zuletzt zeigte sich kein Unterschied in der Anzahl konsumierter Kalorien im Taste Test zwischen beiden *Trainingsbedingungen*, $W = 341$, $p = .718$.

Korrelationen der Veränderung in Aufmerksamkeitsverzerrung und Esspathologie (Explorativ)

In der aktiven Trainingsbedingung existierte eine moderate positive Korrelation zwischen der Veränderung in der Variabilität der Gesamtblickdauer-Verzerrung und der Veränderung der mittleren Reaktionszeit-Verzerrung ($r = .44$). Im Kontrolltraining zeigte sich eine moderate negative Korrelation zwischen der Veränderung der mittleren Gesamtblickdauer-Verzerrung und der Veränderung der Variabilität der Reaktionszeit-Verzerrung ($r = -.46$). Alle übrigen Korrelationen inklusive sämtlicher Korrelationen mit der Veränderung der Esspathologie waren gering ($|r| < .30$). Insgesamt zeigte sich in der Kontrollgruppe eine deutlich geringere Varianz der Veranderungsmae.

Diskussion

Diese Dissertation untersuchte in einer zweiteiligen Fragestellung die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES. Der erste Teil dieser Fragestellung analysierte, ob sich vorherige Befunde einer essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES mithilfe elektrophysiologischer Maße replizieren lassen. Hierfür wurden neben einer Gruppe mit BES eine Kontrollgruppe mit Übergewicht und eine Kontrollgruppe mit Normalgewicht herangezogen. Die Analyse früherer EKPs (N2pc) ergab keine Hinweise auf eine BES-spezifische Aufmerksamkeitsverzerrung in diesem Zeitfenster. Im Zeitfenster der motivierten Aufmerksamkeit hingegen reagierten Personen mit BES mit erhöhten essensbezogenen P300-Amplituden. Die erhöhten essensbezogenen P300-Amplituden traten sowohl in Anwesenheit als auch in Abwesenheit eines aufgabenrelevanten Targets auf. Im späten Zeitfenster des LPP führte sich der Effekt erhöhter essensbezogener Amplituden bei Personen mit BES nur in No-Go-Durchgängen, also ohne konkurrierendes Target, fort. In Go-Durchgängen zeigte sich in der Gruppe mit BES das gegenteilige Muster, nämlich geringere essensbezogene LPP-Amplituden, was auf eine mögliche Unterdrückung der Aufmerksamkeit hindeutet. Die elektrophysiologischen Ergebnisse über die verschiedenen Zeitfenster hinweg werden nachfolgend diskutiert und integriert.

Die N2pc stellt das früheste, in dieser Arbeit analysierte EKP dar. Die Differenz zwischen kontra- und ipsilateraler N2pc gibt Auskunft über die räumliche Verteilung der Aufmerksamkeit (Luck, 2011). In Durchgängen, in denen simultan ein Essens- und ein Nichtessensbild lateralisiert präsentiert wurden, zeigte sich entgegen unserer Hypothese (H1) für keine der drei Gruppen ein Effekt des Bildinhalts auf die N2pc-Differenz. In Abwesenheit eines Targets zeigten also weder die Gruppe mit BES noch die beiden Kontrollgruppen eine verstärkte Aufmerksamkeitszuwendung auf Essensbilder. Das Ausbleiben von N2pc-Effekten in No-Go-Durchgängen lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass beide Bilder aufgrund ihrer perzeptuellen Verschiedenheit vom Target (Bild vs. Zahl) ohne inhaltliche Betrachtung als Distraktoren zu identifizieren waren. Entsprechend war für Versuchsteilnehmende gegebenenfalls schon vor einer inhaltlichen Betrachtung der Bilder ersichtlich, dass im jeweiligen Durchgang kein Target präsentiert wurde. In der offensichtlichen Abwesenheit eines Targets war somit weder eine Target-Verstärkung noch eine Distraktor-Unterdrückung notwendig. Auf der elektrophysiologischen Ebene äußert

sich dies im Ausbleiben der N_T sowie der P_D , zusammengenommen im Ausbleiben einer $N2pc$.

Anders als in No-Go-Durchgängen offenbarte sich in Go-Durchgängen ein Muster differenzieller Verarbeitung von Essen- und Nichtessensbildern (H2). Dieses Muster differenzieller Verarbeitung unterschied sich zudem zwischen den verschiedenen Gruppen. In der Kontrollgruppe mit Übergewicht konkurrierten, entgegen unserer Hypothese, Nichtessensbilder *stärker* mit einem Target um Aufmerksamkeit als Essensbilder. In Anwesenheit eines Targets richteten Personen mit Übergewicht also *weniger* Aufmerksamkeit auf Essensbilder. Die geringere Aufmerksamkeit auf Essensbilder, ausschließlich in Anwesenheit eines Targets, ist möglicherweise indikativ für eine frühe kognitive Unterdrückung in der visuellen Verarbeitung von Essensstimuli.

Diese These reiht sich in die Ergebnisse der Studie von Kumar et al. (2016) ein. Auch jene Studie fand eine frühe Unterdrückung von Essensstimuli, gemessen über die $N1pc$, also dem Potential, das der $N2pc$ zeitlich vorausgeht. Das in Kumar et al. (2016) verwendete Zeitfenster zur Messung der $N1pc$ überschneidet sich interessanterweise mit dem Zeitfenster der $N2pc$ in der vorliegenden Arbeit. Es ist aufgrund der zeitlichen Überschneidung anzunehmen, dass Prozesse der $N1pc$ aus Kumar et al. (2016) und Prozesse der $N2pc$ aus dieser Arbeit, zumindest in Teilen identische Prozesse abbilden. Die Autor*innen der Studie interpretieren die geringere Aufmerksamkeit auf Essensbilder im $N1pc$ -Zeitfenster als eine frühe, aktive Unterdrückung der Verarbeitung von Essensstimuli. Diese Unterdrückung erfolgt, so die Autor*innen, da Essensstimuli besonders saliente Reize darstellen und somit besonders stark mit einem Target um Aufmerksamkeit konkurrieren. Eine Unterdrückung der Aufmerksamkeit könnte somit funktional für die angemessene Bearbeitung der Aufgabe sein, für die eine stärkere Aufmerksamkeitsfokussierung auf Targets sinnvoll ist. Hinweise auf eine kognitive Unterdrückung salienter Reize bei Personen mit Übergewicht finden sich auch in einer fMRT-Studie, die die funktionelle Konnektivität verschiedener Hirnareale bei der Betrachtung von Essensbildern verglich (Kullmann et al., 2013). Veränderungen in der Konnektivität mit dem Salienznetzwerk deuten darauf hin, dass Personen mit Übergewicht und Adipositas, nicht aber Personen mit Normalgewicht, kognitive Strategien einsetzen, um die besonders hohe Salienz von Essensreizen zu überwinden. Die These einer aktiven, frühen Unterdrückung zur besseren Bearbeitung der Aufgabe passt ebenso

zur Abwesenheit dieses Effektes in No-Go-Durchgängen in der vorliegenden Arbeit. Solange kein Target präsentiert wird, ist eine Unterdrückung der Aufmerksamkeit auf Essensreize nicht notwendig.

Der Argumentation folgend, dass saliente Reize zur besseren Bearbeitung der Aufgabe unterdrückt werden, lassen sich auch die Ergebnisse der Kontrollgruppe mit Normalgewicht inhaltlich einordnen. Für Personen ohne Esspathologie und Übergewicht stellen Essensstimuli möglicherweise weniger saliente, und damit weniger potente Distraktoren dar. Aufgrund der verringerten Salienz ist eine frühe kognitive Unterdrückung der Aufmerksamkeit damit womöglich nicht notwendig, um die Aufgabe angemessen zu bearbeiten. Der angenommene Unterschied in der Salienz von Essensstimuli zwischen den beiden Kontrollgruppen könnte zudem durch den gesättigten Zustand der Proband*innen weiter verstärkt werden. Einerseits deuten behaviorale (Loeber et al., 2013) und elektrophysiologische (Stockburger et al., 2008) Ergebnisse vorheriger Studien darauf hin, dass ein Sättigungszustand generell zu einer geringeren Salienz von Essensstimuli führt. Andererseits sollte dieses Sättigungsgefühl insbesondere die Kontrollgruppe mit Normalgewicht beeinflussen, da deren neuronale Verarbeitung von Essen *stärker von homöostatischen Prozessen* abhängt als jene von Personen mit Adipositas (Stopyra et al., 2021).

Die Argumentation, dass eine essensbezogene frühe kognitive Unterdrückung in der Kontrollgruppe mit Normalgewicht aufgrund geringer Salienz (bzw. geringer Potenz als Distraktoren) ausbleibt, erklärt jedoch nicht, weshalb auch in der Gruppe mit BES keine frühe Unterdrückung auftritt. Der IST folgend sollten Essensstimuli *insbesondere* für Personen mit BES potente Distraktoren darstellen. Eine frühe kognitive Unterdrückung wäre für die Gruppe mit BES also funktional im Sinne der Bearbeitung der experimentellen Aufgabe. Die fehlende Unterdrückung könnte daher vielmehr ein Defizit in inhibitorischen Kontrollfunktionen bei Personen mit BES repräsentieren. Die These eines solchen inhibitorischen Kontrolldefizits bei Personen mit BES wird von den Ergebnissen mehrerer fMRT-Studien untermauert. So weisen Personen mit BES eine Hypoaktivierung der für Selbstregulation zuständigen, neuronalen Regionen (Balodis et al., 2013) sowie eine niedrigere Konnektivität zwischen Arealen der Belohnungsverarbeitung und der kognitiven Kontrolle auf (Murray et al., 2023). Eine weitere fMRT-Studie von Hege und Kolleg*innen (2015) liefert einen noch direkteren Hinweis darauf, dass ein inhibitorisches Kontrolldefizit

der Gruppe mit BES ursächlich ist für die (im Vergleich zur Kontrollgruppe mit Übergewicht) ausbleibende frühe Unterdrückung der Verarbeitung von Essensstimuli. In dieser Studie wurden Personen mit BES und Personen mit Adipositas dazu instruiert, ihre Reaktionen auf Essensstimuli oder Nichtessensstimuli zu inhibieren. Spezifisch in Durchgängen, in denen Reaktionen auf Essensstimuli inhibiert werden mussten, zeigten Personen mit Adipositas eine verstärkte Aktivierung im rechten dorsolateralen Präfrontalkortex – einem mit inhibitorischer Kontrolle assoziierten Hirnareal. Die Gruppe mit BES zeigte diese verstärkte Aktivierung bei der Inhibition von Reaktionen auf Essensstimuli *nicht*, wobei sich ihre Inhibitionsleistung auf behavioraler Ebene gleichzeitig tendenziell *verschlechterte*. Die Autor*innen der Studie schlussfolgern erstens, dass die Inhibition von Reaktionen spezifisch auf Essensstimuli für beiden Gruppen besondere herausfordernd ist und zweitens, dass es nur der Kontrollgruppe mit Adipositas gelingt, diese besondere Herausforderung durch das Abrufen zusätzlicher Ressourcen zur inhibitorischen Kontrolle zu kompensieren. Der Gruppe mit BES hingegen fehlen diese zusätzlichen Ressourcen, weswegen es nicht zu einer stärkeren Aktivierung des rechten dorsolateralen Präfrontalkortex kommt, sondern zu einer tendenziellen Verschlechterung der Aufgabenleistung.

Zusammengefasst deuten die N2pc-Unterschiede auf eine frühe Unterdrückung der Aufmerksamkeit auf Essenstimuli bei Personen mit Übergewicht und ein Fehlen dieser Unterdrückung bei Personen mit Normalgewicht und Personen mit BES hin. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass andere Mechanismen das Ergebnismuster hervorgerbracht haben, insbesondere, da das vorliegende Paradigma nicht in der Lage ist, zwischen Effekten der Target-Verstärkung (N_T) und Effekten der Distraktor-Unterdrückung (P_D) zu unterscheiden. Zukünftige Studien sollten daher auch Paradigmen einsetzen, die eine Unterscheidung zwischen Target-Verstärkung und Distraktor-Unterdrückung ermöglichen, wie etwa Displays mit zentral präsentierten Targets und lateralisierten Distraktoren (siehe Hickey et al., 2009).

Im nachfolgenden Zeitfenster der P300 bestätigte sich die Hypothese stärkerer essensbezogener Amplituden für Personen mit BES. Sowohl in Go- als auch No-Go-Durchgängen reagierte die Gruppe mit BES mit erhöhten Amplituden, wenn ein Essensbild, relativ zu einem Nichtessensbild, präsentiert wurde. Dies steht in Einklang mit vorherigen Studienergebnissen (Schiele et al., 2017; Svaldi et al., 2010). Aufgrund des bereits beschriebenen Zusammenhangs zwischen P300-

Amplituden und motivierter Aufmerksamkeit, weist dieses Muster auf eine erhöhte essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit bei Personen mit BES hin (Begleiter et al., 1983; Carrillo-de-la-Peña & Cadaveira, 2000). Diese erhöhte essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit steht auch in Einklang mit den Vorhersagen der IST. Der Theorie entsprechend sollten Personen mit BES, aufgrund wiederholt auftretender Essanfälle, ein sensitiviertes Dopaminsystem aufweisen. Die verstärkte, essensbezogene Dopaminausschüttung sollte im nächsten Schritt mit der in dieser Studie gefundenen, erhöhten motivierten Aufmerksamkeit einhergehen (Berridge & Robinson, 2016; Robinson & Berridge, 1993). Es ist anzunehmen, dass diese verstärkte motivierte Aufmerksamkeit für Personen mit BES zu einer erhöhten Gefahr objektiver Essanfällen in alltäglichen Situationen führt. Diese Annahme stützt sich unter anderem auf Eye-Tracking Ergebnisse, denen zufolge Personen mit BES ihre Aufmerksamkeit auch in Alltagskontexten vermehrt auf Essensreize lenken (Popien et al., 2015). Die erhöhten P300-Amplituden in Go-Durchgängen weisen darauf hin, dass Essensreize mit einem verstärkten Maß an motivierter Aufmerksamkeit belegt werden, selbst wenn simultan eine andere Aufgabe zu erfüllen ist - in diesem Fall das angemessene Reagieren auf ein Target. Auf alltägliche Situationen übertragen könnte dies bedeuten, dass Personen mit BES auch dann eine verzerrte Aufmerksamkeit auf Essen zeigen, wenn sie gerade ein anderes, zielgerichtetes Verhalten ausführen.

Entgegen unserer Hypothese zeigten sich für Personen mit Übergewicht keine erhöhten P300-Amplituden auf Essensreize im Vergleich zu Nichtessensreizen. Demnach deuten die elektrophysiologischen Maße bei dieser Gruppe nicht auf ein erhöhtes Maß an motivierter essensbezogener Aufmerksamkeit hin. In No-Go-Durchgängen reagierten Personen mit Übergewicht sogar mit *geringeren* P300-Amplituden auf Essensstimuli im Vergleich zu Nichtessensstimuli. In vorangegangene Studien zur essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit Übergewicht zeigten sich insgesamt uneindeutige Befunde (Chami et al., 2019). Insbesondere scheinen Kontextfaktoren zu beeinflussen, ob erhöhte essensbezogene P300-Amplituden gefunden werden oder nicht. So zeigte sich etwa ein Einfluss von Stimmung (Liu et al., 2020) und Hungerlevel (Nijs et al., 2010) auf die essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit gemessen über die P300. Dies ist insofern für die Einordnung der vorliegenden Studienergebnisse von Bedeutung, als einerseits keine Stimmungsinduktion erfolgte und andererseits Studienteilnehmende

gesättigt waren. Die Induktion verschiedener Stimmungen (insbesondere auch unangenehmer Stimmungen) bietet einen interessanten Ansatzpunkt für zukünftige Studien, auch um mögliche, gruppenspezifische und differenzielle Auswirkungen von Stimmung auf die essensbezogene Aufmerksamkeit aufzudecken. Zumindest sollte in nachfolgenden Untersuchungen die aktuelle Stimmung als möglicher Kontextfaktor im subjektiven Rating erfragt werden. Dies ist insbesondere der Fall, da für Personen mit BES bereits ein Zusammenhang zwischen der Stimmung und der Wahrscheinlichkeit eines Essanfalls gefunden wurde (Svaldi et al., 2019).

Überdies lassen sich die Ergebnisse der Kontrollgruppe mit Übergewicht im Zeitfenster der P300 möglicherweise auf die Ergebnisse in der N2pc zurückführen. Die erfolgreiche Unterdrückung von Essensstimuli der Kontrollgruppe mit Übergewicht im frühen Zeitfenster der N2pc führte potenziell dazu, dass im folgenden Zeitfenster der P300 keine erhöhte motivierte Aufmerksamkeit auf Essensstimuli auftrat. Umgekehrt ist denkbar, dass die Gruppe mit BES im Zeitfenster der P300 eine erhöhte essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit aufweist, da im vorherigen Zeitfenster keine Unterdrückung der Aufmerksamkeit auf Essensstimuli erfolgte. Dieser Unterschied ist womöglich indikativ dafür, dass die frühe Unterdrückung der Kontrollgruppe mit Übergewicht eine adaptive und funktionale Strategie darstellt, besonders potente Distraktoren (hier Essensstimuli) zu unterdrücken.

Die essens- und nichtessensbezogenen P300-Amplituden der Kontrollgruppe mit Normalgewicht unterschieden sich, wie auch jene der Kontrollgruppe mit Übergewicht, je nach Art des Durchgangs. Ausschließlich, wenn *kein* zu bearbeitendes Target präsentiert wurde, also in No-Go-Durchgängen, zeigte sich in den P300-Amplituden eine erhöhte motivierte Aufmerksamkeit auf Essensreize, relativ zu Nichtessensreizen. In Go-Durchgängen trat hingegen das umgekehrte Muster geringerer essensbezogener P300-Amplituden auf. Dies deutet darauf hin, dass Personen mit Normalgewicht in der Lage waren, ihre essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit zu reduzieren, wenn die Bearbeitung eines aufgabenrelevanten Targets dies erforderte. Interessanterweise scheint dies auch ohne eine Unterdrückung der essensbezogenen Aufmerksamkeit im früheren Zeitfenster der N2pc zu gelingen.

Im Zeitfenster des LPP reagierte die Kontrollgruppe mit Normalgewicht weder in Go- noch in No-Go-Durchgängen mit stärkeren Amplituden auf Essensstimuli. Demnach

deuten die LPP-Amplituden der Personen mit Normalgewicht weder in Anwesenheit noch Abwesenheit eines Targets auf eine erhöhte motivierte essensbezogene Aufmerksamkeit hin. Dies steht teilweise im Widerspruch zu bisherigen Studien, die in der Mehrzahl auch für Personen mit Normalgewicht erhöhte, essensbezogene Amplituden in späteren Zeitfenstern finden (Carbine et al., 2018). Die ausbleibenden essensbezogenen LPP-Effekte der Kontrollgruppe mit Normalgewicht sind zumindest teilweise dadurch zu erklären, dass Versuchsteilnehmende in der vorliegenden Arbeit gesättigt waren, was zu einer Reduktion später essensbezogener EKPs führt (Carbine et al., 2018). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Kontrollgruppe mit Normalgewicht reagierte die Kontrollgruppe mit Übergewicht sowohl in Go- als auch No-Go-Durchgängen mit erhöhten essensbezogenen LPP-Amplituden. Dies deutet unabhängig von der Art des Durchgangs auf eine erhöhte motivierte essensbezogene Aufmerksamkeit hin. Im direkten Vergleich der beiden Kontrollgruppen deuten die LPP-Ergebnisse dieser Arbeit also darauf hin, dass Personen mit Übergewicht eine stärkere essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit zeigen als Personen mit Normalgewicht. Auch dieser Unterschied hebt sich von vorherigen Studien ab, die keine essensbezogenen LPP-Unterschiede zwischen Personen mit Normalgewicht und Personen mit Übergewicht oder Adipositas finden (Carbine et al., 2017; Hanlon et al., 2012; Versace et al., 2016). Versace et al. (2016) führen die ausbleibenden Unterschiede auf die Existenz zweier Subgruppen, die mithilfe latenter Klassenanalysen gefunden wurden, zurück. Sowohl unter Personen mit Normalgewicht als auch unter Personen mit Adipositas existierte eine *Subgruppe*, die mit einer erhöhten essensbezogenen motivierten Aufmerksamkeit reagierte (auch „sign-tracker“ genannt). Umgekehrt gab es auch für beide Gewichtsguppen eine Subgruppe, die *keine* erhöhte essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit zeigte (auch „goal-tracker“ genannt). Während der Anteil an „sign-trackern“ unter Personen mit Adipositas relativ zur Gruppe mit Normalgewicht fast doppelt so hoch war, führte diese Differenz zwar zu numerischen aber nicht statistisch signifikanten essensbezogenen LPP-Unterschieden (Versace et al., 2016). Die Autor*innen der Studie führen inkonsistente Vorbefunde zum Einfluss des BMIs auf die essensbezogene Aufmerksamkeit auf verschieden hohe Anteile an „sign-trackern“ in den jeweils rekrutierten Stichproben zurück. Dieser Argumentation folgend könnten die vom BMI abhängigen LPP-Unterschiede der vorliegenden Arbeit auf einen hohen Anteil an „sign-trackern“ in der Kontrollgruppe mit Übergewicht zurückzuführen sein.

Die geringe Stichprobengröße der vorliegenden Arbeit ermöglicht es jedoch nicht, eine latente Klassenanalyse mit angemessener Power durchzuführen (Tein et al., 2013). Zur weiteren Überprüfung dieser These sollten daher zukünftige Studien mithilfe von latenten Klassenanalysen (und größeren Stichproben) überprüfen, ob sich das Muster der beiden Subgruppen replizieren lässt.

Ähnlich wie in der Kontrollgruppe mit Normalgewicht unterschieden sich die LPP-Amplituden in der Gruppe mit BES auch abhängig von der Art des Durchgangs. In Abwesenheit eines aufgabenrelevanten Targets reagierte die Gruppe mit BES mit stärkeren LPP-Amplituden auf Essensstimuli, im Vergleich zu Nichtessensstimuli. Diese erhöhten LPP-Amplituden in No-Go-Durchgängen deuten darauf hin, dass Personen mit BES auch im späteren Zeitfenster mehr motivierte Aufmerksamkeit auf Essensreize lenkten. Die erhöhte essensbezogene motivierte Aufmerksamkeit im Zeitfenster des LPP deckt sich den Ergebnissen der Studie von Svaldi et al. (2010), in der Personen mit BES ebenfalls erhöhte essensbezogene LPP-Amplituden aufwiesen. Ebenso schließen die erhöhten essensbezogenen *LPP-Amplituden* in No-Go-Durchgängen an die erhöhten essensbezogenen *P300-Amplituden* in No-Go-Durchgängen an.

Im Gegensatz zu den übereinstimmenden Ergebnissen in No-Go-Durchgängen unterschied sich die LPP-Reaktivität von der P300-Reaktivität in Go-Durchgängen. Dem P300-Muster entgegengesetzt, reagierten Personen mit BES in No-Go-Durchgängen mit stärkeren LPP-Amplituden auf *Nichtessensbilder* relativ zu Essensbildern. Demnach beeinflusste die An- bzw. Abwesenheit eines Targets, ob Essensbilder mit *mehr* (in Abwesenheit eines Targets) oder *weniger* (in Anwesenheit eines Targets) motivierter Aufmerksamkeit belegt wurden. Personen mit BES waren folglich in der Lage, die starke Anziehungskraft, die saliente Essensreize auf die Aufmerksamkeit auswirken, zu unterdrücken, wenn ein aufgabenrelevanter Reiz simultan präsentiert wurde. Diese potenzielle Inhibition der Aufmerksamkeit lässt sich möglicherweise durch die Anwendung kognitiver Regulationsstrategien erklären. Kognitive Regulationsstrategien beeinflussen das LPP stärker als EKPs in früheren Zeitfenstern (Foti & Hajcak, 2008; Meule et al., 2013). So reduzierten sich essensbezogene LPP-Amplituden, wenn Personen instruiert wurden, ihr essensbezogenes Craving kognitiv zu unterdrücken (Svaldi et al., 2015). Dieser Befund ist von besonderer Relevanz, da Personen mit BES essensbezogene Gedanken häufiger unterdrücken als Personen ohne BES (Barnes et al., 2011),

sodass kognitive Unterdrückung insbesondere in dieser Gruppe die LPP-Ergebnisse beeinflusst haben könnte. Um den Einfluss kognitiver Regulationsstrategien auf essensbezogene LPP-Amplituden genauer zu untersuchen, sollten nachfolgende Studien diese Strategien auf zwei Ebenen miteinbeziehen. Erstens sollten Studienteilnehmende befragt werden, ob sie kognitive Regulationsstrategien bei der Bearbeitung des Paradigmas angewendet haben und gegebenenfalls welche. Zweitens sollten Folgestudien Versuchsteilnehmende explizit dazu instruieren, verschiedene kognitive Regulationsstrategien aktiv anzuwenden, um deren Auswirkung auf (frühere und) späte EKPs experimentell zu untersuchen.

Die Analyse des subjektiven Cravings bestätigte die Hypothese eines stärkeren Cravings in der Gruppe mit BES verglichen mit beiden Kontrollgruppen. Dieses Ergebnis eines erhöhten Cravings steht in direktem Einklang mit den Vorhersagen der IST (Berridge & Robinson, 2016; Joyner et al., 2015). Die IST beschreibt, dass wiederholte Essanfälle zu einer Sensitivierung des Dopaminsystems führen und dass diese Sensitivierung (gemeinsam mit einer Aufmerksamkeitsverzerrung) wiederum ein erhöhtes Craving zur Folge hat. Da die IST wiederholte Essanfälle als Ursache des erhöhten Cravings annimmt, folgt aus der Theorie, dass Personen *ohne* Essanfälle ein geringeres Craving berichten sollten als die Gruppe mit BES. Diese Annahme wird durch die Craving-Ergebnisse beider Kontrollgruppen unterstützt. Sowohl die Kontrollgruppe mit Normalgewicht als auch die Kontrollgruppe mit Übergewicht berichteten ein geringeres Craving als die Gruppe mit BES. Zudem unterschieden sich beide Kontrollgruppen nicht im Ausmaß berichteten Cravings. Demzufolge zeigte sich erhöhtes Craving nicht als Marker des Übergewichts, doch als Marker der Esspathologie. Das gefundene gruppenspezifische Muster unterschied sich überdies nicht zwischen der Abfrage *vor* und der Abfrage *nach* dem Experiment. Beide Ergebnisse – das erhöhte Craving der Gruppe mit BES, sowie die Unabhängigkeit der Gruppenunterschiede vom Abfragezeitpunkt – decken sich mit den Befunden einer vorherigen Studie zur Untersuchung des Cravings (Ng & Davis, 2013). Auch in der Studie von Ng und Davis (2013) berichteten Personen mit BES ein stärkeres Craving als Kontrollgruppen mit Normalgewicht und Übergewicht. Dieser Unterschied zeigte sich sowohl *vor* als auch *nach* dem Betrachten von Essensreizen. Darüber hinaus fand jene Studie ausschließlich für Personen mit BES einen Zusammenhang zwischen dem subjektiven Craving vor der Konfrontation mit Essensreizen und der anschließend tatsächlich konsumierten Essensmenge.

Hervorzuheben ist, dass der Zusammenhang zwischen Craving und Essverhalten *unabhängig* vom Hungergefühl auftrat. Die Autorinnen schlussfolgern daraus, dass hedonische Prozesse bei Personen mit BES eine zentralere Rolle für das Craving und Essverhalten einnehmen als homöostatische Prozesse – etwas, das auch durch andere empirische Arbeiten nahegelegt wird (Davis et al., 2009; Ng & Davis, 2013). Unsere Ergebnisse fügen sich insofern nahtlos ein, als die beschriebenen Craving-Unterschiede in der vorliegenden Arbeit im gesättigten Zustand auftraten.

Auch in den subjektiven Ratings der verwendeten Essensbilder spiegeln sich Prozesse einer möglichen Sensitivierung im Sinne der IST wider. Während alle drei Gruppen Essensbilder als aufregender und schmackhafter bewerteten als Nichtessensbilder, war dieser Unterschied in der Gruppe mit BES jeweils am stärksten ausgeprägt. Erhöhte Unterschiede in der Bewertung als *aufregend* lassen sich dadurch erklären, dass mit einer erhöhten essensbezogenen dopaminergen Aktivierung in der Gruppe mit BES auch ein erhöhtes physiologisches Arousal einhergehen sollte (Schmitz et al., 2014). Das erhöhte Arousal sollte im Folgenden von Personen mit BES wahrgenommen werden und sich so auch in der subjektiven Bewertung widerspiegeln. Die Einordnung von Essensstimuli als *schmackhafter* lässt sich mit Bezug zur IST durch einen zweistufigen Prozess erklären. In einem ersten Schritt sollte das sensitivierte Dopaminsystem bei Personen mit BES dazu führen, dass Essensreize als stärker begehrenswert erlebt werden (Berridge, 2009). Aufgrund der starken Korrelation zwischen Begehrtheit und Schmackhaftigkeit, sollte die erhöhte wahrgenommene Begehrtheit des Essens auch mit einer erhöhten Schmackhaftigkeit einhergehen (Wallace et al. 2014).

Bemerkenswerterweise zeigten sich ähnliche Unterschiede auch in der subjektiven Bewertung der Valenz hochkalorischer Essensbilder. Verglichen mit beiden Kontrollgruppen bewerteten Personen mit BES Essensbilder als *positiver* in ihrer Valenz. Dies ist von besonderem Interesse, da die IST zwischen den Konstrukten *Wanting* und *Liking* differenziert. *Wanting* ist gemäß der Theorie primär durch die Belohnungsverarbeitung beeinflusst. Demnach lösen Reize, die mit Belohnung assoziiert sind, *Wanting* aus, das wiederum von Craving begleitet wird. Nach der IST geht dieses *Wanting*, also „Wollen“ eines Stimulus, nicht notwendigerweise auch mit *Liking*, also dem „Mögen“ des Stimulus einher. *Liking* ist das Ergebnis eines hedonischen, angenehmen Prozesses und sollte losgelöst von *Wanting* verstanden werden (Berridge, 2009; Robinson & Berridge, 1993). Auch auf neuronaler Ebene

zeigen sich verschiedene Strukturen für die beiden Prozesse verantwortlich (Morales & Berridge, 2020). Aufgrund der in der Einleitung beschriebenen schweren, negativen körperlichen und psychischen Folgen der BES wäre in der Gruppe mit BES zwar ein stärkeres *Wanting*, nicht aber ein stärkeres *Liking* von Essensbildern zu erwarten gewesen. Diese Erwartung wird auch durch die diagnostischen Kriterien der BES im DSM-5 (Diagnostic and statistical manual of mental disorders; American Psychiatric Association, 2013) gestützt, die Gefühle von Niedergeschlagenheit, Ekel oder Schuld nach Essanfällen umfassen. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis liegt in der Art und Weise, wie die Valenz des Essens in der vorliegenden Arbeit erfasst wurde. Subjektive Ratings sind nicht in jedem Fall in der Lage, angemessen zwischen *Wanting* und *Liking* zu differenzieren (Berridge, 1996). Auch in vorangegangenen Studien zeigte sich mehrfach, dass die Ergebnisse subjektiver Ratings nicht mit den Ergebnissen anderer psychophysiologischer Marker übereinstimmten (Leehr et al., 2016; Svaldi et al., 2010). Diese diskrepanten Ergebnisse wurden zuvor unter anderem durch die motivationale Ambivalenz erklärt, die Personen mit BES Essensstimuli gegenüber verspüren. Sollte motivationale Ambivalenz tatsächlich die Ursache gegenläufiger Ergebnisse in Vorstudien sein, so finden sich in den vorliegenden Ergebnissen keine Hinweise auf eine solche Ambivalenz.

Bei der Interpretation aller Rating-Ergebnisse dieser Arbeit (Arousal, Valenz und Schmackhaftigkeit) sollte der Kontext, in dem diese Bewertungen vorgenommen wurden, beachtet werden. Versuchsteilnehmende bewerteten die Stimuli zu einer frühen Uhrzeit im Labor, während zudem ein*e Versuchsleiter*in im Nebenzimmer saß. Diese Rahmenbedingungen unterschieden sich somit in mehrfacher Hinsicht von jenen, in denen Essanfälle üblicherweise auftreten: Allein, zu Hause und am Nachmittag oder Abend (Svaldi et al., 2019). Vorherige Studien zeigen zudem, dass es sich beim „alleine Essen“-Kriterium des DSM-5 um das informativste handelt, um Personen mit BES zu identifizieren (Richson et al., 2020; White & Grilo, 2011). Es ist daher denkbar, dass in einem Kontext, in dem Essanfälle üblicherweise auftreten, Assoziationen zu diesen Essanfällen präsenter sind und subjektive Bewertungen entsprechend stärker beeinflusst werden. Zudem sollten insbesondere solche Essensreize von einer motivationalen Ambivalenz betroffen sein, die von der jeweiligen Person typischerweise im Rahmen von Essanfällen konsumiert werden. Während in der vorliegenden Arbeit hochkalorische Essensstimuli eingesetzt wurden,

waren diese nicht idiosynkratisch selektiert. Zuletzt stellt der Konsum eines Frühstücks in einem kontrollierten Setting kurz vor dem Rating möglicherweise eine positive essensbezogene Erfahrung dar. Diese Erfahrung könnte zu einer positiven Verzerrung der Valenz-Bewertung beigetragen haben.

Zusammengefasst deuten die elektrophysiologischen Ergebnisse dieser Arbeit darauf hin, dass Personen mit BES tatsächlich eine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung aufweisen. Diese Verzerrung zeigte sich insbesondere in erhöhten essensbezogenen P300-Amplituden, die auf eine verstärkte motivierte Aufmerksamkeit hindeuten. Die zweite Fragestellung dieser Arbeit beschäftigte sich mit einer möglichen Reduktion dieser essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung mithilfe eines computerisierten Trainings. Hierzu wurden die Effekte eines aktiven Trainings auf verschiedene aggregierte und dynamische Maße der Aufmerksamkeitsverzerrung, sowie auf Craving und Esspathologie analysiert und mit einem Kontrolltraining verglichen. Dabei konnten keine differenziellen Effekte des aktiven Trainings für reaktionszeitbasierte Maße, weder aggregiert noch dynamisch, gefunden werden. Im Gegensatz zu den Befunden der reaktionszeitbasierten Maße zeigten sich differenzielle Trainingseffekte auf allen Eye-Tracking Maßen. Durch das aktive Training konnten Verzerrungen in der aggregierten Gesamtblickdauer auf Essen und deren Variabilität reduziert werden. Ebenso verringerte sich die Erstfixationshäufigkeit auf Essen ausschließlich in der aktiven Gruppe, nicht aber in der Kontrollgruppe. Die Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung auf Eye-Tracking Maßen durch das aktive Training übersetzte sich allerdings nicht auf eine differenzielle Verringerung des Cravings und der Esspathologie. Auf diese Ergebnisse soll nachfolgend im Detail eingegangen werden.

Auf dem Maß der mittleren Reaktionszeit gab es weder für die aktive Trainingsgruppe noch für die Kontrollgruppe eine Veränderung der Aufmerksamkeitsverzerrung. Tatsächlich zeigte die aktive Gruppe über alle Sitzungen hinweg eine Verzerrung hin zu Nichtessensbildern. Das Fehlen einer Aufmerksamkeitsverzerrung auf dem Maß der mittleren Reaktionszeit steht teilweise in Widerspruch zu den Ergebnissen einer vorherigen Studie (Deluchi et al., 2017). In dieser Studie zeigte sich eine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES für eine Bildpräsentationsdauer von 500 ms (sowie auch von 100 ms). Insbesondere aufgrund der ähnlichen langen Bildpräsentationsdauer von 600 ms in der vorliegenden Arbeit, wäre eine essensbezogene

Aufmerksamkeitsverzerrung zumindest zu Trainingsbeginn zu erwarten gewesen. Ein zentraler Unterschied zwischen der Studie von Deluchi et al. (2017) und der vorliegenden Arbeit besteht jedoch im mittleren BMI der Stichprobe mit BES. Personen mit BES in der Studie von Deluchi et al. (2017) wiesen einen im Mittel deutlichen höheren BMI auf als Personen mit BES in der vorliegenden Arbeit. Da ein positiver Zusammenhang zwischen höheren Werten im BMI und einer schwereren Esspathologie besteht (Burrows et al., 2017), könnten die diskrepanten Ergebnisse in der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung zumindest in Teilen auf Unterschiede im BMI zurückzuführen sein.

Andererseits wies die Gruppe mit BES in unserer Arbeit erhöhte essensbezogene P300-Amplituden auf. Dies legt nahe, dass auch unsere Stichprobe mit BES, zumindest vor dem Training, eine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung aufwies. Bei einer genaueren Betrachtung des deskriptiven Verlaufs der Reaktionszeit-Verzerrung zeigte die aktive Trainingsgruppe vor Beginn der ersten Trainingssitzung tatsächlich eine numerische Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu Essensbildern. Dieser Befund einer anfänglichen (deskriptiven) Verzerrung stimmt mit den Ergebnissen der P300-Amplituden in der Gruppe mit BES überein. Diese Verzerrung veränderte sich allerdings bereits im Verlauf der ersten Trainingssitzung so deutlich, dass zum Ende der Sitzung bereits eine umgekehrte Verzerrung, hin zu *Nichtessensreizen*, vorlag. Die schnelle Veränderung stellt eine weitere Möglichkeit dar, weshalb in der Analyse der mittleren Reaktionszeit-Verzerrung weder eine anfängliche Verzerrung noch eine Veränderung derselben gefunden wurde. Die der statistischen Analyse zugrundeliegenden Modelle nehmen jeweils eine gesamte Trainingssitzung als Basis ihrer Schätzungen. Somit führte die schnelle Veränderung in der ersten Trainingssitzung dazu, dass *a)* im Mittelwert der ersten Trainingssitzung bereits keine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung mehr vorlag und *b)* die Veränderung über die weiteren Sitzungen hinweg aufgrund möglicher Bodeneffekte ausblieb. Ungeachtet all dessen stellt die geringe Reliabilität von Reaktionszeitmaßen im DPP eine Limitation speziell dieses Maßes dar. Mögliche Diskrepanzen zu anderen Maßen wie der P300-Amplitude sowie zu Ergebnissen vorangehender Studien sind möglicherweise in Teilen auf die geringe Reliabilität zurückzuführen.

Im Gegensatz zur mittleren Reaktionszeit zeigte sich ein statistisch signifikanter, differenzieller Trainingseffekt für die Wahrscheinlichkeit einer Erstfixation auf Essen.

Die Wahrscheinlichkeit einer Erstfixation auf Essen reduzierte sich in der aktiven Trainingsgruppe, nicht aber in der Kontrollgruppe. Zu Beginn des Trainings wiesen beide Gruppen eine Präferenz in der Erstfixation für Essensstimuli auf, was in Einklang mit den Ergebnissen von Deluchi et al. (2017) steht. Innerhalb dieser Studie wurde die initiale Aufmerksamkeitsverteilung bei Personen mit BES mithilfe einer Bildpräsentationsdauer von 100 ms untersucht, wobei sich ebenso wie in der vorliegenden Arbeit eine Präferenz für Essensstimuli zeigte. Das aktive Training unserer Studie war in der Lage diese essensbezogene Verzerrung in der initialen Aufmerksamkeitsverteilung über vier Sitzungen hinweg umzukehren.

Ähnlich wie auf dem Maß der Erstfixation zeigten sich auch auf dem Maß der mittleren Gesamtblickdauer differenzielle Trainingseffekte. Während die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung in der Kontrollgruppe leicht anstieg, zeigte sich für die aktive Trainingsgruppe eine deutliche Reduktion derselben. Die Reduktion der mittleren essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung mithilfe eines computerisierten AMTs deckt sich mit den Befunden vorheriger AMT-Studien, die eine ähnliche Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung erzielten (Boutelle et al., 2016; Schmitz & Svaldi, 2017). Aus den kombinierten Ergebnissen der Erstfixation und Gesamtblickdauer ergibt sich, dass das AMT in der Lage war, sowohl die initiale Aufmerksamkeit als auch die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit zu modifizieren. Die ausbleibenden Effekte in der Kontrollgruppe zeigen dabei, dass diese Reduktion nicht auf bloße Habituation mit Essensreizen zurückzuführen ist. Die kontinuierliche Messung der Aufmerksamkeitsverzerrung während des Trainings unserer Studie erlaubt zudem einen genaueren Einblick, nicht nur *ob*, sondern *wann* die Trainingseffekte in der aktiven Bedingung auftraten. Für beide Maße – Erstfixation und mittlere Gesamtblickdauer – traten bereits innerhalb der ersten Trainingssitzung insofern bedeutsame Trainingseffekte auf, als sich bereits in der zweiten Sitzung numerisch keine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung mehr zeigte. Angesichts der Tatsache, dass die IST eine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung als zentralen und kausalen Faktor für die Aufrechterhaltung der Esspathologie annimmt, ist eine so schnell eintretende (zumindest kurzfristige) Veränderung beachtlich. Auch innerhalb der zweiten und dritten Trainingssitzung zeigte sich in der aktiven Bedingung eine weitere Reduktion der Gesamtblickdauer-Verzerrung, nicht aber in der vierten und letzten Sitzung. Da sich bereits zu Beginn der vierten Trainingssitzung eine numerische

Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu *Nichtessensreizen* zeigte, ist der ausbleibende weitere Trainingseffekt in der vierten Sitzung möglicherweise auf Bodeneffekte zurückzuführen. Es ist denkbar, dass auch das ausschließlich vor der vierten Trainingssitzung konsumierte Frühstück zu diesem Bodeneffekt beitrug, da Personen in gesättigtem Zustand eine geringere essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung zeigen (Hardman et al., 2021).

Die über die Reaktionszeit gemessene Variabilität der Aufmerksamkeitsverzerrung reduzierte sich in beiden Trainingsgruppen. Diese Reduktion unterschied sich jedoch nicht signifikant zwischen der aktiven Gruppe und der Kontrollgruppe. Vorherige Studien, die eine erhöhte Variabilität der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit Übergewicht und Adipositas fanden, führten diese erhöhte Variabilität unter anderem auf Defizite in inhibitorischen Kontrollfunktionen zurück (Liu et al., 2019; Liu et al., 2022). Dieser Idee folgend reflektiert die Reduktion der Variabilität in beiden Gruppen möglicherweise eine Verbesserung inhibitorischer Kontrollfunktionen sowohl durch das aktive Training als auch durch das Kontrolltraining. Diese mögliche Verbesserung der inhibitorischen Kontrolle wäre in diesem Fall nicht auf eine Verschiebung der Kontingenzen zurückzuführen, doch auf einen Parameter, der in beiden Trainingsbedingungen gleichstark zum Wirken kam. Dabei ist einschränkend zu erwähnen, dass die Hypothese inhibitorischer Kontrolldefizite als Ursache erhöhter Variabilität bislang nicht experimentell untersucht wurde. Aus der Diskrepanz zwischen *differenziellen Trainingseffekten* für die mittlere Verzerrung und dem *Ausbleiben differenzieller Trainingseffekte* für die Variabilität der Verzerrung ergibt sich zudem, dass (zumindest teilweise) verschiedene Mechanismen für die Veränderung dieser beiden Maße verantwortlich sind. Sollte also eine Verbesserung der inhibitorischen Kontrolle ursächlich für die reduzierte Variabilität sein, kann sie dennoch nicht der alleinige Mechanismus sein, der in diesem Training angesprochen wurde. Eine Alternative Erklärung zum Ausbleiben differenzieller Effekte besteht in den kurzen Bildpräsentationsdauern der vorliegenden Arbeit. Längere Bildpräsentationsdauern sind besser geeignet, um die Variabilität der Aufmerksamkeitsverzerrung und mögliche unterliegende Mechanismen zu untersuchen (Liu et al., 2022). Zukünftige Studien, die eine Untersuchung der Variabilität planen, sollten daher auch längere Präsentationsdauern einsetzen.

Während sich für die Variabilität der Reaktionszeit-Verzerrung keine differenziellen Trainingseffekte zeigten, reduzierte sich die Variabilität der Gesamtblickdauer-Verzerrung stärker in der aktiven Trainingsgruppe als in der Kontrollgruppe. Dieses deutet möglicherweise darauf hin, dass sich die inhibitorischen Kontrollfunktionen in der aktiven Trainingsgruppen stärker verbessert haben als in der Kontrollgruppe. Eine mögliche Verbesserung inhibitorischer Kontrollfunktionen durch ein AMT macht das Training insbesondere für Personen mit BES (aber auch Personen mit Adipositas; Lavagnino et al., 2016) interessant, da diese häufiger von Defiziten in der inhibitorischen Kontrolle betroffen sind (Cury et al., 2020). Das mögliche Training von Exekutivfunktionen durch ein AMT ist zudem von besonderem Interesse, da es Hinweise darauf gibt, dass AMTs effektiver für Personen mit besseren Exekutivfunktionen sind (Smith, Treffiletti, et al., 2020). In diesem Fall könnten synergetische Effekte genutzt werden: Ein AMT könnte über die Sitzungen hinweg die inhibitorische Kontrolle trainieren, was wiederum zu einer höheren Effektivität des Trainings selbst führen würde und so weiter. Zunächst sollte jedoch der angenommene Zusammenhang zwischen inhibitorischer Kontrolle und der Variabilität essensbezogener Aufmerksamkeitsverzerrungen experimentell getestet werden. Hierzu schlagen wir den Vergleich eines AMTs und eines inhibitorischen Kontrolltrainings sowohl auf den Maßen der *Variabilität der Aufmerksamkeitsverzerrung* als auch einem Maß der *inhibitorischen Kontrolle* vor.

Während sich auf verschiedenen Maßen der Aufmerksamkeitsverzerrung differenzielle Trainingseffekte zeigten, übertrugen sich diese nicht auf subjektives Craving und die Anzahl objektiver Essanfälle. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu den Vorhersagen der IST, die einen direkten und kausalen Zusammenhang zwischen einer verzerrten motivierten Aufmerksamkeit, einem erhöhten Craving und dem Essverhalten postuliert (Robinson & Berridge, 1993; Berridge, 2009). Der Theorie folgend, müssten sich die differenziellen Trainingseffekte, die sich auf mehreren Maßen der Aufmerksamkeitsverzerrung zeigen, auch auf Craving und Essverhalten übertragen. Zwar reduzierten sich Craving und die Anzahl der Essanfälle über das Training hinweg, allerdings kann aufgrund der ausbleibenden differenziellen Effekte die Aufmerksamkeitsmodifikation als unterliegender Mechanismus dieser beiden Reduktionen ausgeschlossen werden. Tatsächlich lässt sich die Reduktion des Cravings vor allem auf eine deutliche Abnahme in der vierten Trainingssitzung zurückzuführen, was

höchstwahrscheinlich vom zuvor eingenommenen Frühstück herrührt. Der generelle Abfall in der Anzahl der Essanfälle ist vermutlich auf allgemeinere Faktoren wie Erwartungseffekte, die regelmäßige Teilnahme an Studienterminen, Habituation über wiederholte Exposition mit Nahrungsmittelreizen und letztlich auch Regression zur Mitte zurückzuführen.

Durch dieses Muster differenzieller und nicht-differenzieller Trainingseffekte, offenbart sich eine bemerkenswerte Diskrepanz bezüglich der Effektivität des AMTs: Bereits innerhalb der ersten Sitzung konnte die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung (zumindest kurzfristig) nivelliert werden, hingegen reichten vier volle Sitzungen offenbar nicht aus, um differenzielle Veränderungen im Craving und der Esspathologie zu erwirken. Interessanterweise zeigen beide bisherigen Studien zu AMTs bei der BES, ebenso wie diese Arbeit, keine klare Auswirkung des Trainings auf das subjektive Craving (Boutelle et al., 2016; Schmitz & Svaldi, 2017). Eine Meta-Analyse ermittelte zudem, dass die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung weniger als 2 % der Varianz des Cravings erklärte (Hardman et al., 2021). Dieser geringe Anteil erklärter Varianz deutet darauf hin, dass der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsverzerrung und Craving weniger direkt ist als in der IST formuliert und stärker durch andere Variablen vermittelt wird.

Die ausbleibenden differenziellen Trainingseffekte auf das Essverhalten in dieser Arbeit unterscheiden sich darüber hinaus von den Ergebnissen vorheriger Studien mit Stichproben ohne Essstörungen. Mehrere Studien zu AMTs bei Personen ohne Esspathologie zeigen differenzielle Effekte des Trainings auch auf das Essverhalten (Kakoschke et al., 2014; Kemps et al., 2014; Smith, Treffiletti, et al., 2020; Zhang et al., 2018). Dieser Unterschied in den Ergebnissen deutet möglicherweise auf eine stärkere Rigidität des Essverhaltens bei Personen mit BES hin. Es ist zudem denkbar, dass die stark verschiedenen Kontexte zwischen dem Training *im Labor* und der anschließenden Rückkehr *in den Alltag* mögliche Effekte des aktiven Trainings abschwächen. Ein solcher Kontextwechsel trägt zu einer Reduktion von Transfereffekten im Rahmen des assoziativen Lernens bei (Rosas et al., 2013). Um diesem Kontextwechsel vorzubeugen, könnte das Training selbst in den Alltag der Versuchsteilnehmenden verlagert werden. Hierfür könnte auf die Methode der Ecological Momentary Intervention (EMI) zurückgegriffen werden. In diesem Fall könnten – wie zuvor beschrieben – noch mehr der für einen objektiven Essanfall

typischen Kontextfaktoren miteinbezogen werden. Beispielsweise könnten Versuchsteilnehmende das Training eher am Nachmittag und Abend, allein und in Situationen besonders negativer Affektlage durchführen. Im Bereich der Approach-Avoidance-Trainings zeigte sich eine App-basierte Variante bereits effektiv im Fördern einer gesunden Essensauswahl bei Personen mit Übergewicht und Adipositas (Kakoschke et al., 2018). Unabhängig vom Kontext sollte EMA aufgrund der hohen Messfrequenz besonders gut geeignet sein, die intraindividuelle Variabilität von Aufmerksamkeitsverzerrung, Craving und pathologischem Essverhalten abzubilden. Daher schlagen wir eine EMA-Studie vor, die mithilfe eines App-basierten DPPs die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung (und deren Variabilität) über einen längeren Zeitraum erfasst. Das App-basierte DPP sollte dabei durch Fragen zum Craving, zentralen Kontextfaktoren und pathologischem Essverhalten ergänzt werden. In einem ersten Schritt könnten hieraus für jede Person individuelle Faktoren abgeleitet werden, die eine besonders starke essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bedingen. In einem zweiten Schritt könnte – wieder über einen längeren Zeitraum – immer dann ein App-basiertes AMT angeboten werden, wenn eine solche Situation erhöhter Aufmerksamkeitsverzerrung vorliegt.

Wie auch für Craving und die Anzahl der Essanfälle zeigte sich kein differenzieller Trainingseffekt auf die im Bogus Taste Test konsumierten Kalorien. Insgesamt nahmen Versuchsteilnehmende mit einer durchschnittlichen Menge von etwa 395 Kilokalorien eher geringe Mengen im Taste Test zu sich. Diese Zahl weicht stark von der üblichen, innerhalb eines objektiven Essanfalls konsumierten Kalorienmenge ab, die typischerweise zwischen 1500 und 3000 Kilokalorien liegt (Wolfe et al., 2009). Es ist denkbar, dass Versuchsteilnehmende aufgrund der Anwesenheit einer versuchsleitenden Person im Nebenzimmer sowie dem berechtigten Verdacht, dass die gegessene Menge abgewogen wird, weniger Essen konsumiert haben. Diese Überlegung gründet auf den starken Schamgefühlen, die Personen mit BES im Rahmen ihrer Essanfälle häufig erleben und welche heimliches Essen begünstigen (O’Loughlen et al., 2022).

In der Diskussion ausbleibender differenzieller Trainingseffekte auf Craving, Essanfälle und Essverhalten im Bogus Taste Test stellen die *interindividuellen* Unterschiede in der essensbezogenen Aufmerksamkeit einen zentralen Faktor dar. Aus den Vorhersagen der IST ergibt sich, dass insbesondere Personen mit einer

(stärkeren) Aufmerksamkeitsverzerrung zu Trainingsbeginn, auch am stärksten von einem AMT profitieren sollten. Die Daten der vorliegenden Arbeit bestätigen diese Vorhersage, da Personen mit einer höheren Verzerrung zu Beginn auch eine stärkere Reduktion der Verzerrung über das Training hinweg erlebten. Dies steht der Idee des AMTs als universell wirksame Interventionsmöglichkeit für Personen mit BES zumindest teilweise entgegen. Die Konzeptualisierung von AMTs als universelle Interventionsmöglichkeit wurde sowohl im Bereich von Abhängigkeitserkrankungen (Franken & van de Wetering, 2015) als auch im Bereich des Essverhaltens (Jones et al., 2018) bereits kritisiert. Auch in den Daten unserer Arbeit zeigt sich, dass zu Beginn der ersten Trainingssitzung nur 58 % der Versuchsteilnehmenden eine essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung aufwiesen. Umgekehrt ergibt sich daraus, dass über 40 % der Personen mit BES in unserer Studie schon zu Trainingsbeginn *keine* messbare essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung zeigten. Es ist zumindest infrage zu stellen, inwieweit ein Training zur Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung das Essverhalten von Personen beeinflussen kann, die zum Trainingszeitpunkt keine Aufmerksamkeitsverzerrung aufweisen. Es ist andererseits vor dem Hintergrund der IST denkbar, dass eine Aufmerksamkeitsverzerrung vor allem für solche Nahrungsmittel besteht, die im Rahmen von Essanfällen konsumiert werden. In diesem Fall sollte die Verwendung idiosynkratischer Stimuli den Anteil an Personen mit messbarer Aufmerksamkeitsverzerrung erhöhen (Christiansen & Bloor, 2014; Christiansen et al., 2015; Jones et al., 2018). Ebenso könnten zukünftige Studien durch die Induktion negativer Stimmung (Hepworth et al., 2010) oder eines hungrigen Zustandes (Hardman et al., 2021) die Bedingungen zur Messung einer essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung erleichtern. Idiosynkratische Stimuli, negative Stimmung und ein überdurchschnittliches Hungergefühl sollten zusätzlich die externe Validität der Messung erhöhen, da die Kontextfaktoren so ähnlicher zu jenen eines typischen Essanfalles sind (Haedt-Matt & Keel, 2011; Svaldi et al., 2019). Umgekehrt könnte eine solche Studie wichtige Hinweise über den Anteil an Personen mit BES liefern, die auch unter „optimalen“ Bedingungen zur Messung einer Aufmerksamkeitsverzerrung *keine* solche Aufmerksamkeitsverzerrung zeigen. In jedem Fall deuten die Daten zur Aufmerksamkeitsverzerrung bei Trainingsbeginn darauf hin, dass essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrungen nicht für alle Personen mit BES eine ähnlich zentrale Rolle einnehmen.

Zuletzt zeigten sich zwischen der Veränderung verschiedener Maße der Aufmerksamkeitsverzerrung fast ausschließlich geringe Korrelationen. Dies macht erneut deutlich, dass verschiedene *Maße* der Aufmerksamkeitsverzerrung auch verschiedene *Konstrukte* repräsentieren, die untereinander oft nur schwach oder überhaupt nicht korrelieren. Diese schwachen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Maßen auf der empirischen Ebene widersprechen dem Konzept einer einzelnen, übergreifenden Aufmerksamkeitsverzerrung auf der theoretischen Ebene. Zukünftige Studien sollten daher auch untersuchen, *welche* essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrungen die Esspathologie auf *welche* Art und Weise aufrechterhalten. Insbesondere betrifft dies einerseits die Unterscheidung zwischen initialer Aufmerksamkeitszuwendung und Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit, andererseits die Unterscheidung zwischen mittleren Maßen der Aufmerksamkeitszuwendung und Variabilität eben dieser. Eine genauere Untersuchung dessen könnte mithilfe weiterer Trainingsstudien erfolgen, die eine gezielte Manipulation *einzelner Teilstrukturen* der Aufmerksamkeitsverzerrung vornehmen (z.B. nur initiale Aufmerksamkeit bzw. nur Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit). Somit könnte die Auswirkung der Veränderung *bestimmter Aspekte* der Aufmerksamkeitsverzerrung präziser erfasst werden. Im Rahmen solcher Trainingsstudien sollte zudem simultan EEG abgeleitet werden. Dadurch könnte nicht nur die Beziehung verschiedener Teilstrukturen der Aufmerksamkeitsverzerrung zueinander, sondern auch die Beziehung dieser Teilstrukturen zu verschiedenen EKPs genauer beleuchtet werden.

Limitationen

Die vorliegende Arbeit umfasst mehrere Limitationen, die zu diskutieren sind. Die erste Limitation besteht in der moderaten Stichprobengröße. Insbesondere für die Reaktionszeitdaten innerhalb des Trainings sowie die elektrophysiologischen Daten hätte eine Vergrößerung der Stichprobe zu einer Verbesserung des *Signal-to-Noise-Ratios* geführt. Im Falle der EEG-Daten gilt dies primär für die N2pc, die im Gegensatz zu P300 und LPP über die Differenz von nur zwei Elektrodenpositionen berechnet wurde. Mit einer geringeren Anzahl an zugrundeliegenden Elektroden geht üblicherweise eine geringere Reliabilität einher (Huffmeijer et al., 2014).

Weiter sind die ungleich großen Trainingsgruppen als Einschränkung zu nennen. Diese sind auf eine Reduktion der angestrebten Stichprobengröße im Zuge der

COVID-19 Pandemie zurückzuführen. Im Rahmen dieser Reduktion wurden die Randomisierungslisten nicht neu generiert. Die Verwendung von (generalisierten) gemischten linearen Modellen wie in der vorliegenden Arbeit sind jedoch gut geeignet, um auch verschieden große Gruppen miteinander zu vergleichen (Maas & Hox, 2005).

Darüber hinaus verwendeten wir sowohl im Go/No-Go-Paradigma als auch im DPP jeweils nur eine konstante Stimuluspräsentationsdauer von 150 bzw. 600 ms. Dies erschwert den Vergleich mit Vorstudien, die davon abweichende Präsentationsdauern verwendeten. Die Präsentationsdauer von 150 ms im Go/No-Go-Paradigma basiert auf Vorstudien, die speziell für die N2pc kurze Präsentationsdauern empfehlen (Brisson & Jolicœur, 2007; Grubert & Eimer, 2013). Jedoch weisen Vorstudien zu P300 und LPP häufig längere Präsentationsdauern auf (z.B. Schienle et al., 2017; Svaldi et al., 2010). Zumindest für das LPP im von uns untersuchten Zeitfenster zeigt sich jedoch keine Abhängigkeit von der Bildpräsentationsdauer, was eine Vergleichbarkeit wiederum erleichtert (Gable et al., 2015). Innerhalb des Trainings ergaben sich durch die vergleichsweise kurze Präsentationsdauer von 600 ms einerseits mehr Durchgänge und somit mehr Trainingsgelegenheiten innerhalb einer Sitzung. Andererseits sind längere Präsentationsdauern typischerweise mit einer höheren Reliabilität der mittleren Gesamtblickdauer sowie deren Variabilität assoziiert (Liu et al., 2022; van Ens et al., 2019). Zukünftige Studien könnten sowohl für EEG-Paradigmen als auch für DPPs variable Präsentationsdauern einsetzen, um die genannten Vorteile einzelner Präsentationsdauern zu kombinieren.

Eine weitere Limitation besteht in der einmaligen Durchführung des Bogus Taste Tests. Dies führte wahrscheinlich zu einer deutlichen Verringerung der Power für das Aufdecken differenzieller Trainingseffekte auf diesem einzigen laborbasierten Maß des Essverhaltens. Zukünftige AMT-Studien sollten den Bogus Taste Test sowohl vor als auch nach dem Training durchführen.

Zuletzt erforderte keines unserer beiden Paradigmen eine genauere Exploration der präsentierten Bilder zur angemessenen Bearbeitung der Aufgabe. Im Go/No-Go-Paradigma konnten Bilder bereits aufgrund ihrer perzeptuellen Eigenschaften als Distraktoren identifiziert werden. Im DPP bestand die Aufgabe der Versuchsteilnehmenden nur in der korrekten Klassifikation des präsentierten Probes.

Zukünftige Paradigmen könnten davon profitieren, die gestellte Aufgabe so zu modifizieren, dass eine genauere Exploration der Bilder durch die Versuchsteilnehmenden notwendig ist. Beispielsweise könnten im Go/No-Go-Paradigma Targets eingesetzt werden, die den Distraktor-Bildern perzeptuell stärker ähneln. Im DPP könnten regelmäßige Abfragen zwischen Durchgängen, ob bestimmte Bilder präsentiert wurden oder nicht, eine genauere Exploration der Bilder motivieren.

Ausblick und Implikationen

Diese Dissertation untersuchte die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES sowie deren Modifikation mithilfe eines AMTs. Dabei konnte auf mehreren Maßen repliziert werden, dass Personen mit BES eine Aufmerksamkeitsverzerrung hin zu Essensstimuli aufweisen (Stojek et al., 2018). Die Verwendung zweier Kontrollgruppen erlaubt dabei den Rückschluss, dass die Esspathologie von Personen mit BES über die Effekte des Übergewichts hinaus zu einer essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung beiträgt. Erhöhte P300-Amplituden und eine längere mittlere Gesamtblickdauer auf Essen deuten dabei auf eine verstärkte motivierte Aufmerksamkeit im Sinne der IST hin. Befunde aus dem früheren Zeitfenster der N2pc legen zudem nahe, dass eine fehlende Unterdrückung der frühen Verarbeitung von Essensstimuli zu diesem Phänomen beiträgt. Die von der Anwesenheit eines Targets abhängige essensbezogene LPP-Reaktivität deutet überdies darauf hin, dass Personen mit BES kognitive Regulationsstrategien einsetzen, um ihre Aufmerksamkeit von Essensstimuli lösen zu können. Zukünftige Studien sollten das Phänomen der unterdrückten Aufmerksamkeit auf Essensstimuli, sowohl im frühen (N2pc) als auch im späten (LPP) Zeitfenster genauer untersuchen. Zur Untersuchung des Phänomens im frühen Zeitfenster sollten dabei Paradigmen wie in Hickey et al. (2009) zum Einsatz kommen, die zentral und lateralisiert präsentierte Targets und Distraktoren (insbesondere Essensbilder) einsetzen. Damit könnte eine genauere Unterscheidung zwischen Prozessen der Target-Verstärkung und der Distraktor-Unterdrückung erreicht werden. Um die spätere kognitive Unterdrückung genauer zu untersuchen, sollten Studien zum Einsatz kommen, die Versuchspersonen direkt dazu instruieren, bestimmte kognitive Regulationsstrategien wie Unterdrückung einzusetzen.

Die Ergebnisse des AMTs dieser Arbeit replizieren darüber hinaus, dass computerisierte Trainings in der Lage sind, die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES zu reduzieren (Boutelle et al., 2016; Schmitz & Svaldi, 2017). Dies ist von besonderer Bedeutung, da die vorliegende Arbeit erstmals die Verwendung einer aktiven Kontrollgruppe, reliabler Eye-Tracking-Maße und mehrerer Trainingssitzungen kombiniert und somit eine hohe interne Validität aufweist. Auf mehreren Maßen der Aufmerksamkeitsverzerrung traten maßgebliche Reduktionen bereits innerhalb der ersten Trainingssitzung auf. Im weiteren Verlauf des Trainings kam es auf einigen Maßen sogar zu einer Umkehrung der Verzerrung hin zu Nichtessensreizen. Dies deutet darauf hin, dass die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES zumindest kurzfristig sehr schnell reduziert und sogar vollständig nivelliert werden kann. Darüber hinaus reduzierte sich ebenso die *Variabilität* der Aufmerksamkeitsverzerrung in beiden Trainingsgruppen, wobei sich für das Eye-Tracking-Maß eine Überlegenheit der aktiven Gruppe zeigte. Somit liefert die vorliegende Arbeit erste Hinweise darauf, dass ein AMT bei Personen mit BES nicht nur die mittlere Aufmerksamkeitsverzerrung, sondern auch deren Variabilität reduzieren kann. Da bisherige Studien eine reduzierte inhibitorischen Kontrolle als Ursache erhöhter Variabilität annehmen (Liu et al., 2019; Liu et al., 2022), deuten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit möglicherweise darauf hin, dass das AMT auch zu einer Verbesserung der inhibitorischen Kontrolle führte. Diese These sollte in nachfolgenden Studien durch eine experimentelle Messung der inhibitorischen Kontrolle vor und nach dem Training überprüft werden.

Die IST schreibt der essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung eine kausale Rolle sowohl auf das Craving als auch auf das pathologische Essverhalten zu. Allerdings ging die differenzielle Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung im aktiven Training dieser Arbeit *nicht* mit einer differenziellen Reduktion des Cravings und des pathologischen Essverhaltens einher. Die ausbleibenden Korrelationen zwischen Esspathologie und der essensbezogenen motivierten Aufmerksamkeit in den EEG-Ergebnissen der Gruppe mit BES deuten ebenso auf eine fehlende Assoziation zwischen diesen beiden Konstrukten hin. Beide Ergebnisse – der fehlende Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitsverzerrung und Esspathologie sowie der fehlende Zusammenhang zwischen den Veränderungen beider – stehen demnach in Widerspruch mit den Vorhersagen der IST. Eine mögliche Erklärung für

den ausbleibenden Transfer der reduzierten Aufmerksamkeitsverzerrung auf das Essverhalten liegt in den voneinander abweichenden Kontextfaktoren zwischen Training und Alltag. Während die Trainingssitzungen morgens oder mittags, in einem Labor, teilweise in gesättigtem Zustand und in Anwesenheit einer versuchsleitenden Person erfolgten, treten Essanfälle üblicherweise am Nachmittag oder Abend, zu Hause, in hungrigem Zustand und allein auf (Haedt-Matt & Keel, 2011; Svaldi et al., 2019).

Wie auch die Wahrscheinlichkeit eines Essanfalls unterliegt die essensbezogene Aufmerksamkeit bei Personen mit BES ebenso starken *intraindividuellen* Schwankungen. Dabei ist es insbesondere die momentan vorliegende Aufmerksamkeitsverzerrung, die einen Prädiktor für Essanfälle darstellt (Smith, Mason, et al., 2020). Die Angleichung des Trainingskontextes an Situationen, in denen typischerweise eine erhöhte Aufmerksamkeitsverzerrung sowie eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Essanfälle vorliegen, liegt somit nah. Hierbei bieten EMI einen vielversprechenden Ansatzpunkt (Kakoschke et al., 2018). Eine weitere mögliche Erklärung für die in dieser Studie ausbleibenden Trainingseffekte auf das Essverhalten liegt in den *interindividuellen* Unterschieden der Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES. Bereits zu Trainingsbeginn wiesen nur knapp 60 % der in dieser Arbeit untersuchten Personen mit BES überhaupt eine messbare essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung auf. Die zentrale Rolle, die die IST der Aufmerksamkeitsverzerrung in der Aufrechterhaltung der BES zuschreibt, scheint nicht für alle Personen in unserer Stichprobe (gleichermaßen) zu gelten. Gleichzeitig ist denkbar, dass unter Personen mit BES eine *Teilstichprobe* existiert, für die die essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung eine kausale Rolle in der Aufrechterhaltung der Esspathologie spielt. Zukünftige Studien zu AMTs bei Personen mit BES sollten daher auf die Rekrutierung größerer Stichproben abzielen, um drei Fragestellungen genauer zu untersuchen: Erstens sollte das Ergebnis der vorliegenden Arbeit, dass Personen mit einer stärkeren Aufmerksamkeitsverzerrung zu Beginn des Trainings auch eine stärkere Reduktion durch das Training erleben, repliziert werden. Zweitens sollte getestet werden, ob sich der Zusammenhang zwischen Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung und Reduktion der Esspathologie in einer Substichprobe der Personen mit BES finden lässt. Hierzu sollte zunächst überprüft werden, ob Personen mit einer erhöhten Aufmerksamkeitsverzerrung zu Beginn des Trainings eine solche Subgruppe

darstellen. Drittens sollte mithilfe latenter Klassenanalysen (Versace et al., 2016) oder Machine-Learning-Algorithmen (Schwartz et al., 2021) getestet werden, welche Variablen eine erhöhte Aufmerksamkeitsverzerrung zu Beginn des Trainings vorhersagen können.

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit eine erhöhte essensbezogenen Aufmerksamkeitsverzerrung bei Personen mit BES. Diese erhöhte essensbezogene Aufmerksamkeitsverzerrung kann mithilfe eines AMTs reduziert werden. Allerdings scheint sich diese Reduktion der Aufmerksamkeitsverzerrung nicht auf eine Reduktion der Esspathologie auszuwirken. Entsprechend stehen die Ergebnisse dieser Arbeit teilweise in Widerspruch mit den Vorhersagen der IST. Zukünftige Studien sollten nicht nur zu untersuchen, *ob* AMTs universell effektiv in der Reduktion der Esspathologie sind, sondern *für welche Personen* und *unter welchen Kontextfaktoren* sie effektiv sind.

Literatur

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Amir, I., Zvielli, A., & Bernstein, A. (2016). (De)coupling of our eyes and our mind's eye: A dynamic process perspective on attentional bias. *Emotion*, *16*(7), 978-986. <https://doi.org/10.1037/emo0000172>
- Arcelus, J., Mitchell, A. J., Wales, J., & Nielsen, S. (2011). Mortality rates in patients with anorexia nervosa and other eating disorders. A meta-analysis of 36 studies. *Arch Gen Psychiatry*, *68*(7), 724-731. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.74>
- Balodis, I. M., Molina, N. D., Kober, H., Worhunsky, P. D., White, M. A., Rajita, S., Grilo, C. M., & Potenza, M. N. (2013). Divergent neural substrates of inhibitory control in binge eating disorder relative to other manifestations of obesity. *Obesity (Silver Spring)*, *21*(2), 367-377. <https://doi.org/10.1002/oby.20068>
- Barnes, R. D., Masheb, R. M., & Grilo, C. M. (2011). Food thought suppression: a matched comparison of obese individuals with and without binge eating disorder. *Eat Behav*, *12*(4), 272-276. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2011.07.011>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Baur, J., Krohmer, K., Naumann, E., & Svaldi, J. (2022). Attentional processing of body images in women with overweight and obesity. *Eat Weight Disord*, *27*(7), 2811-2819. <https://doi.org/10.1007/s40519-022-01419-1>
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Manual for the beck depression inventory. <https://doi.org/10.1037/t00742-000>

- Begleiter, H., Porjesz, B., Chou, C. L., & Aunon, J. I. (1983). P3 and stimulus incentive value. *Psychophysiology*, *20*(1), 95-101.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1983.tb00909.x>
- Bello, N. T., & Hajnal, A. (2010). Dopamine and binge eating behaviors. *Pharmacol Biochem Behav*, *97*(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.04.016>
- Berridge, K. C. (1996). Food reward: brain substrates of wanting and liking. *Neurosci Biobehav Rev*, *20*(1), 1-25. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(95\)00033-b](https://doi.org/10.1016/0149-7634(95)00033-b)
- Berridge, K. C. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards: brain substrates and roles in eating disorders. *Physiol Behav*, *97*(5), 537-550.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.044>
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2015). Pleasure systems in the brain. *Neuron*, *86*(3), 646-664. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.02.018>
- Berridge, K. C., & Robinson, T. (2016). Liking, wanting and the incentive salience theory of addiction. *American Psychologist*, *71*(8), 670-679.
<https://doi.org/10.1037/amp0000059>
- Biehl, S. C., Ansorge, U., Naumann, E., & Svaldi, J. (2019). Altered Processing of Visual Food Stimuli in Adolescents with Loss of Control Eating. *Nutrients*, *11*(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/nu11020210>
- Blechert, J., Goltsche, J. E., Herbert, B. M., & Wilhelm, F. H. (2014). Eat your troubles away: electrocortical and experiential correlates of food image processing are related to emotional eating style and emotional state. *Biol Psychol*, *96*, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.12.007>
- Boutelle, K. N., Monreal, T., Strong, D. R., & Amir, N. (2016). An open trial evaluating an attention bias modification program for overweight adults who binge eat. *J Behav Ther Exp Psychiatry*, *52*, 138-146.
<https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2016.04.005>

Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007). The N2pc component and stimulus duration. *NeuroReport*, *18*(11), 1163-1166.

<https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3281e72d1b>

Burra, N., & Kerzel, D. (2014). The distractor positivity (Pd) signals lowering of attentional priority: evidence from event-related potentials and individual differences. *Psychophysiology*, *51*(7), 685-696.

<https://doi.org/10.1111/psyp.12215>

Burrows, T., Skinner, J., McKenna, R., & Rollo, M. (2017). Food Addiction, Binge Eating Disorder, and Obesity: Is There a Relationship? *Behav Sci (Basel)*, *7*(3). <https://doi.org/10.3390/bs7030054>

Carbine, K. A., Larson, M. J., Romney, L., Bailey, B. W., Tucker, L. A., Christensen, W. F., & LeCheminant, J. D. (2017). Disparity in neural and subjective responses to food images in women with obesity and normal-weight women. *Obesity (Silver Spring)*, *25*(2), 384-390. <https://doi.org/10.1002/oby.21710>

Carbine, K. A., Rodeback, R., Modersitzki, E., Miner, M., LeCheminant, J. D., & Larson, M. J. (2018). The utility of event-related potentials (ERPs) in understanding food-related cognition: A systematic review and recommendations. *Appetite*, *128*, 58-78.

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.05.135>

Carrillo-de-la-Pena, M. T., & Cadaveira, F. (2000). The effect of motivational instructions on P300 amplitude. *Neurophysiol Clin*, *30*(4), 232-239.

[https://doi.org/10.1016/s0987-7053\(00\)00220-3](https://doi.org/10.1016/s0987-7053(00)00220-3)

Cepeda-Benito, A., Gleaves, D. H., Fernandez, M. C., Vila, J., Williams, T. L., & Reynoso, J. (2000). The development and validation of Spanish versions of the State and Trait Food Cravings Questionnaires. *Behav Res Ther*, *38*(11), 1125-1138. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00141-2](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00141-2)

Chami, R., Cardi, V., Lautarescu, A., Mallorqui-Bague, N., & McLoughlin, G. (2019). Neural responses to food stimuli among individuals with eating and weight disorders: a systematic review of event-related potentials. *Int Rev Psychiatry*, *31*(4), 318-331. <https://doi.org/10.1080/09540261.2019.1622515>

- Chao, A. M., Grilo, C. M., & Sinha, R. (2016). Food cravings, binge eating, and eating disorder psychopathology: Exploring the moderating roles of gender and race. *Eat Behav*, *21*, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2015.12.007>
- Christiansen, P., & Bloor, J. F. (2014). Individualised but not general alcohol Stroop predicts alcohol use. *Drug Alcohol Depend*, *134*, 410-413. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2013.10.021>
- Christiansen, P., Mansfield, R., Duckworth, J., Field, M., & Jones, A. (2015). Internal reliability of the alcohol-related visual probe task is increased by utilising personalised stimuli and eye-tracking. *Drug Alcohol Depend*, *155*, 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2015.07.672>
- Cristea, I. A., Kok, R. N., & Cuijpers, P. (2015). Efficacy of cognitive bias modification interventions in anxiety and depression: meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, *206*(1), 7-16. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.114.146761>
- Cristea, I. A., Kok, R. N., & Cuijpers, P. (2016). The Effectiveness of Cognitive Bias Modification Interventions for Substance Addictions: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, *11*(9), e0162226. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162226>
- Cury, M. E. G., Berberian, A., Scarpato, B. S., Kerr-Gaffney, J., Santos, F. H., & Claudino, A. M. (2020). Scrutinizing Domains of Executive Function in Binge Eating Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Psychiatry*, *11*(April), 288. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00288>
- Davis, C. A., Levitan, R. D., Reid, C., Carter, J. C., Kaplan, A. S., Patte, K. A., King, N., Curtis, C., & Kennedy, J. L. (2009). Dopamine for "wanting" and opioids for "liking": a comparison of obese adults with and without binge eating. *Obesity (Silver Spring)*, *17*(6), 1220-1225. <https://doi.org/10.1038/oby.2009.52>
- Deluchi, M., Costa, F. S., Friedman, R., Goncalves, R., & Bizarro, L. (2017). Attentional bias to unhealthy food in individuals with severe obesity and binge eating. *Appetite*, *108*, 471-476. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.012>

- De Zwaan, M., Mitchell, J. E., Howell, L. M., Monson, N., Swan-Kremeier, L., Roerig, J. L., Kolotkin, R. L., & Crosby, R. D. (2002). Two measures of health-related quality of life in morbid obesity. *Obes Res*, *10*(11), 1143-1151.
<https://doi.org/10.1038/oby.2002.155>
- Drobes, D. J., Miller, E. J., Hillman, C. H., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Food deprivation and emotional reactions to food cues: implications for eating disorders. *Biol Psychol*, *57*(1-3), 153-177.
[https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(01\)00093-x](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(01)00093-x)
- Dunning, J. P., Parvaz, M. A., Hajcak, G., Maloney, T., Alia-Klein, N., Woicik, P. A., Telang, F., Wang, G. J., Volkow, N. D., & Goldstein, R. Z. (2011). Motivated attention to cocaine and emotional cues in abstinent and current cocaine users--an ERP study. *Eur J Neurosci*, *33*(9), 1716-1723.
<https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07663.x>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*(3), 225-234.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)95711-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(96)95711-9)
- Eimer, M., & Kiss, M. (2007). Attentional capture by task-irrelevant fearful faces is revealed by the N2pc component. *Biol Psychol*, *74*(1), 108-112.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.008>
- Erskine, H. E., & Whiteford, H. A. (2018). Epidemiology of binge eating disorder. *Curr Opin Psychiatry*, *31*(6), 462-470.
<https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000449>
- Fairburn, C. G., & Beglin, S. J. (1994). Assessment of eating disorders: interview or self-report questionnaire? *Int J Eat Disord*, *16*(4), 363-370.
[https://doi.org/10.1002/1098-108X\(199412\)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1098-108X(199412)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23)
- Fairburn, C., Cooper, Z., & O'Connor, M. (2008). Eating Disorder Examination. In C. G. Fairburn (Ed.), *Cognitive behavior therapy and eating disorders* (pp. 309-314). Guilford Press. <https://doi.org/10.1037/t03975-000>

- Fichter, M. M., Quadflieg, N., & Hedlund, S. (2008). Long-term course of binge eating disorder and bulimia nervosa: relevance for nosology and diagnostic criteria. *Int J Eat Disord*, *41*(7), 577-586. <https://doi.org/10.1002/eat.20539>
- First, M. B., Gibbon, M., Spitzer, R., Williams, J., & Benjamin, L. (1997). *Structured clinical interview for DSM-IV axis II personality disorders (SCID-II)*. American Psychiatric Press.
- First, M. B., Spitzer, R. L., Gibbon, M., & Williams, J. B. W. (1996). *Structured clinical interview for DSM-IV axis I disorders, clinician version (SCID-CV)*. American Psychiatric Press.
- Foti, D., & Hajcak, G. (2008). Deconstructing reappraisal: descriptions preceding arousing pictures modulate the subsequent neural response. *J Cogn Neurosci*, *20*(6), 977-988. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20066>
- Foti, D., Hajcak, G., & Dien, J. (2009). Differentiating neural responses to emotional pictures: evidence from temporal-spatial PCA. *Psychophysiology*, *46*(3), 521-530. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00796.x>
- Franken, I. H. A., & van de Wetering, B. J. M. (2015). Bridging the gap between the neurocognitive lab and the addiction clinic. *Addict Behav*, *44*, 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2014.11.034>
- Fydrich, T., Renneberg, B., Schmitz, B., & Wittchen, H. U. (1997). *Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV, Achse II: Persönlichkeitsstörungen; eine deutschsprachige, erweiterte Bearbeitung der amerikanischen Originalversion des SCID-II*. Hogrefe.
- Gable, P. A., Adams, D. L., & Proudfit, G. H. (2015). Transient tasks and enduring emotions: the impacts of affective content, task relevance, and picture duration on the sustained late positive potential. *Cogn Affect Behav Neurosci*, *15*(1), 45-54. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0313-8>
- Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *55*(4), 468-484. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(83\)90135-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(83)90135-9)

- Grubert, A., & Eimer, M. (2013). Qualitative differences in the guidance of attention during single-color and multiple-color visual search: behavioral and electrophysiological evidence. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 39(5), 1433-1442. <https://doi.org/10.1037/a0031046>
- Haedt-Matt, A. A., & Keel, P. K. (2011). Hunger and binge eating: a meta-analysis of studies using ecological momentary assessment. *Int J Eat Disord*, 44(7), 573-578. <https://doi.org/10.1002/eat.20868>
- Hajcak, G., Dunning, J. P., & Foti, D. (2009). Motivated and controlled attention to emotion: time-course of the late positive potential. *Clin Neurophysiol*, 120(3), 505-510. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.11.028>
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review. *Dev Neuropsychol*, 35(2), 129-155. <https://doi.org/10.1080/87565640903526504>
- Hajcak, G., & Nieuwenhuis, S. (2006). Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 6(4), 291-297. <https://doi.org/10.3758/cabn.6.4.291>
- Hajcak, G., Weinberg, A., MacNamara, A., & Foti, D. (2012). ERPs and the Study of Emotion. In. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0222>
- Handy, T. C. (2005). *Event-related potentials: a methods handbook*. MIT Press.
- Hanlon, B., Larson, M. J., Bailey, B. W., & LeCheminant, J. D. (2012). Neural response to pictures of food after exercise in normal-weight and obese women. *Med Sci Sports Exerc*, 44(10), 1864-1870. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31825cade5>
- Hardman, C. A., Jones, A., Burton, S., Duckworth, J. J., McGale, L. S., Mead, B. R., Roberts, C. A., Field, M., & Werthmann, J. (2021). Food-related attentional bias and its associations with appetitive motivation and body weight: A systematic review and meta-analysis. *Appetite*, 157, 104986. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104986>

- Hautzinger, M., Keller, F., & Kühner, C. (2006). *Beck Depressions-Inventar: BDI-II. Revision*. Harcourt Test Services.
- Hege, M. A., Stingl, K. T., Kullmann, S., Schag, K., Giel, K. E., Zipfel, S., & Preissl, H. (2015). Attentional impulsivity in binge eating disorder modulates response inhibition performance and frontal brain networks. *Int J Obes (Lond)*, 39(2), 353-360. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.99>
- Heitmann, J., Bennik, E. C., van Hemel-Ruiter, M. E., & de Jong, P. J. (2018). The effectiveness of attentional bias modification for substance use disorder symptoms in adults: a systematic review. *Syst Rev*, 7(1), 160. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0822-6>
- Hepworth, R., Mogg, K., Brignell, C., & Bradley, B. P. (2010). Negative mood increases selective attention to food cues and subjective appetite. *Appetite*, 54(1), 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.09.019>
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *J Cogn Neurosci*, 21(4), 760-775. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21039>
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *J Cogn Neurosci*, 18(4), 604-613. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.4.604>
- Hilbert, A., Petroff, D., Herpertz, S., Pietrowsky, R., Tuschen-Caffier, B., Vocks, S., & Schmidt, R. (2019). Meta-analysis of the efficacy of psychological and medical treatments for binge-eating disorder. *J Consult Clin Psychol*, 87(1), 91-105. <https://doi.org/10.1037/ccp0000358>
- Hilbert, A., Tuschen-Caffier, B., Karwautz, A., Niederhofer, H., & Munsch, S. (2007). Eating disorder examination-questionnaire. *Diagnostica*, 53(3), 144–154. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.53.3.144>
- Hilbert, A., Tuschen-Caffier, B., & Ohms, M. (2004). Eating disorders examination: A German version of the structured eating disorder interviews. *Diagnostica*, 50(2), 98-106. <https://doi.org/Doi.10.1026/0012-1924.50.2.98>

- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP.
- Horowitz, T. S., Fine, E. M., Fencsik, D. E., Yurgenson, S., & Wolfe, J. M. (2007). Fixational eye movements are not an index of covert attention. *Psychol Sci*, 18(4), 356-363. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01903.x>
- Huffmeijer, R., Bakermans-Kranenburg, M. J., Alink, L. R., & van Ijzendoorn, M. H. (2014). Reliability of event-related potentials: the influence of number of trials and electrodes. *Physiol Behav*, 130, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.03.008>
- Jones, A., Hardman, C. A., Lawrence, N., & Field, M. (2018). Cognitive training as a potential treatment for overweight and obesity: A critical review of the evidence. *Appetite*, 124, 50-67. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.032>
- Joyner, M. A., Gearhardt, A. N., & White, M. A. (2015). Food craving as a mediator between addictive-like eating and problematic eating outcomes. *Eat Behav*, 19, 98-101. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2015.07.005>
- Kakoschke, N., Hawker, C., Castine, B., de Courten, B., & Verdejo-Garcia, A. (2018). Smartphone-based cognitive bias modification training improves healthy food choice in obesity: A pilot study. *Eur Eat Disord Rev*, 26(5), 526-532. <https://doi.org/10.1002/erv.2622>
- Kakoschke, N., Kemps, E., & Tiggemann, M. (2014). Attentional bias modification encourages healthy eating. *Eat Behav*, 15(1), 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.11.001>
- Klatzkin, R. R., Gaffney, S., Cyrus, K., Bigus, E., & Brownley, K. A. (2015). Binge eating disorder and obesity: preliminary evidence for distinct cardiovascular and psychological phenotypes. *Physiol Behav*, 142, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.018>

- Kemps, E., Tiggemann, M., & Hollitt, S. (2016). Longevity of attentional bias modification effects for food cues in overweight and obese individuals. *Psychol Health, 31*(1), 115-129. <https://doi.org/10.1080/08870446.2015.1077251>
- Kemps, E., Tiggemann, M., Orr, J., & Grear, J. (2014). Attentional retraining can reduce chocolate consumption. *J Exp Psychol Appl, 20*(1), 94-102. <https://doi.org/10.1037/xap0000005>
- Kessler, R. C., Berglund, P. A., Chiu, W. T., Deitz, A. C., Hudson, J. I., Shahly, V., Aguilar-Gaxiola, S., Alonso, J., Angermeyer, M. C., Benjet, C., Bruffaerts, R., de Girolamo, G., de Graaf, R., Maria Haro, J., Kovess-Masfety, V., O'Neill, S., Posada-Villa, J., Sasu, C., Scott, K., . . . Xavier, M. (2013). The prevalence and correlates of binge eating disorder in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *Biol Psychiatry, 73*(9), 904-914. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.11.020>
- Kulke, L. V., Atkinson, J., & Braddick, O. (2016). Neural Differences between Covert and Overt Attention Studied using EEG with Simultaneous Remote Eye Tracking. *Front Hum Neurosci, 10*, 592. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00592>
- Kullmann, S., Pape, A. A., Heni, M., Ketterer, C., Schick, F., Haring, H. U., Fritsche, A., Preissl, H., & Veit, R. (2013). Functional network connectivity underlying food processing: disturbed salience and visual processing in overweight and obese adults. *Cereb Cortex, 23*(5), 1247-1256. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs124>
- Kumar, S., Higgs, S., Rutters, F., & Humphreys, G. W. (2016). Biased towards food: Electrophysiological evidence for biased attention to food stimuli. *Brain Cogn, 110*, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.04.007>
- Lavagnino, L., Arnone, D., Cao, B., Soares, J. C., & Selvaraj, S. (2016). Inhibitory control in obesity and binge eating disorder: A systematic review and meta-analysis of neurocognitive and neuroimaging studies. *Neurosci Biobehav Rev, 68*, 714-726. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.041>

- Leblanc, E., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *J Cogn Neurosci*, *20*(4), 657-671. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20051>
- Leehr, E. J., Schag, K., Brinkmann, A., Ehlis, A. C., Fallgatter, A. J., Zipfel, S., Giel, K. E., & Dresler, T. (2016). Alleged Approach-Avoidance Conflict for Food Stimuli in Binge Eating Disorder. *PLoS ONE*, *11*(4), e0152271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152271>
- Lenth, R. (2022). Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.7.4-1
- Littel, M., & Franken, I. H. (2011). Intentional modulation of the late positive potential in response to smoking cues by cognitive strategies in smokers. *PLoS ONE*, *6*(11), e27519. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027519>
- Liu, Y., Roefs, A., & Nederkoorn, C. (2022). Fluctuations in attentional bias for food and the role of executive control. *Appetite*, *168*, 105761. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105761>
- Liu, Y., Roefs, A., Werthmann, J., & Nederkoorn, C. (2019). Dynamics of attentional bias for food in adults, children, and restrained eaters. *Appetite*, *135*, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.01.004>
- Liu, Y., Zhang, L., Jackson, T., Wang, J., Yang, R., & Chen, H. (2020). Effects of negative mood state on event-related potentials of restrained eating subgroups during an inhibitory control task. *Behav Brain Res*, *377*(June 2019), 112249. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112249>
- Loeber, S., Grosshans, M., Herpertz, S., Kiefer, F., & Herpertz, S. C. (2013). Hunger modulates behavioral disinhibition and attention allocation to food-associated cues in normal-weight controls. *Appetite*, *71*, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.07.008>

- Luck, S. J. (2011). Electrophysiological Correlates of the Focusing of Attention within Complex Visual Scenes: N2pc and Related ERP Components. In E. S. Kappenman & S. J. Luck (Eds.), *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0161>
- Luck, S. J., & Gaspelin, N. (2017). How to get statistically significant effects in any ERP experiment (and why you shouldn't). *Psychophysiology*, *54*(1), 146-157.
<https://doi.org/10.1111/psyp.12639>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *20*(5), 1000-1014. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.20.5.1000>
- Maas, C. J., & Hox, J. J. (2005). Sufficient sample sizes for multilevel modeling. *Methodology*, *1*(3), 86-92. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.1.3.86>
- MacLeod, C., & Clarke, P. J. F. (2015). The Attentional Bias Modification Approach to Anxiety Intervention. *Clinical Psychological Science*, *3*(1), 58-78.
<https://doi.org/10.1177/2167702614560749>
- MacLeod, C., Rutherford, E., Campbell, L., Ebsworthy, G., & Holker, L. (2002). Selective attention and emotional vulnerability: Assessing the causal basis of their association through the experimental manipulation of attentional bias. *Journal of Abnormal Psychology*, *111*(1), 107-123.
<https://doi.org/10.1037//0021-843x.111.1.107>
- Meule, A., Kubler, A., & Blechert, J. (2013). Time course of electrocortical food-cue responses during cognitive regulation of craving. *Front Psychol*, *4*, 669.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00669>
- Meule, A., Lutz, A., Vogele, C., & Kubler, A. (2012). Food cravings discriminate differentially between successful and unsuccessful dieters and non-dieters. Validation of the Food Cravings Questionnaires in German. *Appetite*, *58*(1), 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.09.010>

- Morales, I., & Berridge, K. C. (2020). 'Liking' and 'wanting' in eating and food reward: Brain mechanisms and clinical implications. *Physiol Behav*, 227, 113152. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113152>
- Moser, J. S., Hajcak, G., Bukay, E., & Simons, R. F. (2006). Intentional modulation of emotional responding to unpleasant pictures: an ERP study. *Psychophysiology*, 43(3), 292-296. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00402.x>
- Murray, S. B., Alba, C., Duval, C. J., Nagata, J. M., Cabeen, R. P., Lee, D. J., Toga, A. W., Siegel, S. J., & Jann, K. (2023). Aberrant functional connectivity between reward and inhibitory control networks in pre-adolescent binge eating disorder. *Psychol Med*, 53(9), 3869-3878. <https://doi.org/10.1017/S0033291722000514>
- Ng, L., & Davis, C. (2013). Cravings and food consumption in Binge Eating Disorder. *Eat Behav*, 14(4), 472-475. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.08.011>
- Nijs, I. M., Franken, I. H., & Muris, P. (2007). The modified Trait and State Food-Cravings Questionnaires: development and validation of a general index of food craving. *Appetite*, 49(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.11.001>
- Nijs, I. M., Franken, I. H., & Muris, P. (2009). Enhanced processing of food-related pictures in female external eaters. *Appetite*, 53(3), 376-383. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.07.022>
- Nijs, I. M., Muris, P., Euser, A. S., & Franken, I. H. (2010). Differences in attention to food and food intake between overweight/obese and normal-weight females under conditions of hunger and satiety. *Appetite*, 54(2), 243-254. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.11.004>
- Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., & Miniussi, C. (2000). The dynamics of shifting visuospatial attention revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia*, 38(7), 964-974. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(00\)00015-4](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(00)00015-4)

- O'Connor, R. M., & Kenny, P. J. (2016). Role of striatal dopamine signaling in compulsive eating associated with obesity. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 9, 152-157. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.014>
- Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008). Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biological psychology*, 77(3), 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.11.006>
- Olofsson, J. K., & Polich, J. (2007). Affective visual event-related potentials: arousal, repetition, and time-on-task. *Biol Psychol*, 75(1), 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.12.006>
- O'Loughlen, E., Grant, S., & Galligan, R. (2022). Shame and binge eating pathology: A systematic review. *Clin Psychol Psychother*, 29(1), 147-163. <https://doi.org/10.1002/cpp.2615>
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 118(10), 2128-2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Polich, J., & Criado, J. R. (2006). Neuropsychology and neuropharmacology of P3a and P3b. *Int J Psychophysiol*, 60(2), 172-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.12.012>
- Popien, A., Frayn, M., von Ranson, K. M., & Sears, C. R. (2015). Eye gaze tracking reveals heightened attention to food in adults with binge eating when viewing images of real-world scenes. *Appetite*, 91, 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.04.046>
- Qi, S., Zeng, Q., Ding, C., & Li, H. (2013). Neural correlates of reward-driven attentional capture in visual search. *Brain Res*, 1532, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.07.044>
- R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

- Raymond, N. C., Neumeyer, B., Warren, C. S., Lee, S. S., & Peterson, C. B. (2003). Energy intake patterns in obese women with binge eating disorder. *Obes Res*, 11(7), 869-879. <https://doi.org/10.1038/oby.2003.120>
- Richson, B. N., Forbush, K. T., Schaumberg, K., Crosby, R. D., Peterson, C. B., Crow, S. J., & Mitchell, J. E. (2020). Are the Criterion B binge-eating symptoms interchangeable in understanding binge-eating severity? An item response theory analysis. *Int J Eat Disord*, 53(12), 1983-1992. <https://doi.org/10.1002/eat.23383>
- Rinck, M., Wiers, R. W., Becker, E. S., & Lindenmeyer, J. (2018). Relapse prevention in abstinent alcoholics by cognitive bias modification: Clinical effects of combining approach bias modification and attention bias modification. *J Consult Clin Psychol*, 86(12), 1005-1016. <https://doi.org/10.1037/ccp0000321>
- Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (1993). The neural basis of drug craving: an incentive-sensitization theory of addiction. *Brain Res Rev*, 18(3), 247-291. [https://doi.org/10.1016/0165-0173\(93\)90013-p](https://doi.org/10.1016/0165-0173(93)90013-p)
- Rodebaugh, T. L., Scullin, R. B., Langer, J. K., Dixon, D. J., Huppert, J. D., Bernstein, A., Zvielli, A., & Lenze, E. J. (2016). Unreliability as a threat to understanding psychopathology: The cautionary tale of attentional bias. *J Abnorm Psychol*, 125(6), 840-851. <https://doi.org/10.1037/abn0000184>
- Rosas, J. M., Todd, T. P., & Bouton, M. E. (2013). Context change and associative learning. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 4(3), 237-244. <https://doi.org/10.1002/wcs.1225>
- Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *J Neurosci*, 32(31), 10725-10736. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1864-12.2012>
- Schag, K., Teufel, M., Junne, F., Preissl, H., Hautzinger, M., Zipfel, S., & Giel, K. E. (2013). Impulsivity in binge eating disorder: food cues elicit increased reward responses and disinhibition. *PLoS ONE*, 8(10), e76542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076542>

- Schienle, A., Scharmüller, W., & Schwab, D. (2017). Processing of visual food cues during bitter taste perception in female patients with binge-eating symptoms: A cross-modal ERP study. *Clin Neurophysiol*, *128*(11), 2184-2190.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.08.017>
- Schmidt, R., Luthold, P., Kittel, R., Tetzlaff, A., & Hilbert, A. (2016). Visual attentional bias for food in adolescents with binge-eating disorder. *J Psychiatr Res*, *80*, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2016.05.016>
- Schmitz, F., Naumann, E., Biehl, S., & Svaldi, J. (2015). Gating of attention towards food stimuli in binge eating disorder. *Appetite*, *95*, 368-374.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.023>
- Schmitz, F., Naumann, E., Trentowska, M., & Svaldi, J. (2014). Attentional bias for food cues in binge eating disorder. *Appetite*, *80*, 70-80.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.023>
- Schmitz, F., & Svaldi, J. (2017). Effects of Bias Modification Training in Binge Eating Disorder. *Behav Ther*, *48*(5), 707-717.
<https://doi.org/10.1016/j.beth.2017.04.003>
- Schulte, E. M., Grilo, C. M., & Gearhardt, A. N. (2016). Shared and unique mechanisms underlying binge eating disorder and addictive disorders. *Clin Psychol Rev*, *44*, 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.02.001>
- Schupp, H. T., Cuthbert, B. N., Bradley, M. M., Cacioppo, J. T., Ito, T., & Lang, P. J. (2000). Affective picture processing: The late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology*, *37*(2), 257-261.
<https://doi.org/10.1111/1469-8986.3720257>
- Schwartz, B., Cohen, Z. D., Rubel, J. A., Zimmermann, D., Wittmann, W. W., & Lutz, W. (2021). Personalized treatment selection in routine care: Integrating machine learning and statistical algorithms to recommend cognitive behavioral or psychodynamic therapy. *Psychother Res*, *31*(1), 33-51.
<https://doi.org/10.1080/10503307.2020.1769219>

- Smith, K. E., Mason, T. B., Juarascio, A., Weinbach, N., Dvorak, R., Crosby, R. D., & Wonderlich, S. A. (2020). The momentary interplay of affect, attention bias, and expectancies as predictors of binge eating in the natural environment. *Int J Eat Disord*, 53(4), 586-594. <https://doi.org/10.1002/eat.23235>
- Smith, E., Treffiletti, A., Bailey, P. E., & Moustafa, A. A. (2020). The effect of attentional bias modification training on food intake in overweight and obese women. *J Health Psychol*, 25(10-11), 1511-1521. <https://doi.org/10.1177/1359105318758856>
- Sperling, I., Baldofski, S., Luthold, P., & Hilbert, A. (2017). Cognitive Food Processing in Binge-Eating Disorder: An Eye-Tracking Study. *Nutrients*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/nu9080903>
- Stockburger, J., Weike, A. I., Hamm, A. O., & Schupp, H. T. (2008). Deprivation selectively modulates brain potentials to food pictures. *Behav Neurosci*, 122(4), 936-942. <https://doi.org/10.1037/a0012517>
- Stojek, M., Shank, L. M., Vannucci, A., Bongiorno, D. M., Nelson, E. E., Waters, A. J., Engel, S. G., Boutelle, K. N., Pine, D. S., Yanovski, J. A., & Tanofsky-Kraff, M. (2018). A systematic review of attentional biases in disorders involving binge eating. *Appetite*, 123, 367-389. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.019>
- Stopyra, M. A., Friederich, H. C., Lavandier, N., Monning, E., Bendszus, M., Herzog, W., & Simon, J. J. (2021). Homeostasis and food craving in obesity: a functional MRI study. *Int J Obes (Lond)*, 45(11), 2464-2470. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00920-4>
- Svaldi, J., Naumann, E., Trentowska, M., & Schmitz, F. (2014). General and food-specific inhibitory deficits in binge eating disorder. *Int J Eat Disord*, 47(5), 534-542. <https://doi.org/10.1002/eat.22260>
- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Biehl, S. C., Gschwendtner, K., Wolz, I., & Naumann, E. (2015). Effects of two cognitive regulation strategies on the processing of food cues in high restrained eaters. An event-related potential study. *Appetite*, 92, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.05.026>

- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Peyk, P., & Blechert, J. (2010). Information processing of food pictures in binge eating disorder. *Appetite*, *55*(3), 685-694. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.10.002>
- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Trentowska, M., Caffier, D., & Naumann, E. (2014). Differential caloric intake in overweight females with and without binge eating: effects of a laboratory-based emotion-regulation training. *Behav Res Ther*, *56*, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2014.02.008>
- Svaldi, J., Werle, D., Naumann, E., Eichler, E., & Berking, M. (2019). Prospective associations of negative mood and emotion regulation in the occurrence of binge eating in binge eating disorder. *J Psychiatr Res*, *115*, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2019.05.005>
- Tein, J. Y., Coxe, S., & Cham, H. (2013). Statistical Power to Detect the Correct Number of Classes in Latent Profile Analysis. *Struct Equ Modeling*, *20*(4), 640-657. <https://doi.org/10.1080/10705511.2013.824781>
- van Ens, W., Schmidt, U., Campbell, I. C., Roefs, A., & Werthmann, J. (2019). Test-retest reliability of attention bias for food: Robust eye-tracking and reaction time indices. *Appetite*, *136*, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.01.020>
- Versace, F., Kyriotakis, G., Basen-Engquist, K., & Schembre, S. M. (2016). Heterogeneity in brain reactivity to pleasant and food cues: evidence of sign-tracking in humans. *Soc Cogn Affect Neurosci*, *11*(4), 604-611. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv143>
- Vöhringer, J., Hütter, M., Schroeder, P. A., & Svaldi, J. (2023). Does a white bear help you eat less? The impact of the inhibitory spillover effect on eating behaviour. *Eur Eat Disord Rev*, *31*(5), 685-695. <https://doi.org/10.1002/erv.2995>
- Volkow, N. D., Wang, G. J., & Baler, R. D. (2011). Reward, dopamine and the control of food intake: implications for obesity. *Trends Cogn Sci*, *15*(1), 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.11.001>

- Wallace, D. L., Aarts, E., Dang, L. C., Greer, S. M., Jagust, W. J., & D'Esposito, M. (2014). Dorsal striatal dopamine, food preference and health perception in humans. *PLoS ONE*, *9*(5), e96319.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096319>
- Wang, G. J., Geliebter, A., Volkow, N. D., Telang, F. W., Logan, J., Jayne, M. C., Galanti, K., Selig, P. A., Han, H., Zhu, W., Wong, C. T., & Fowler, J. S. (2011). Enhanced striatal dopamine release during food stimulation in binge eating disorder. *Obesity (Silver Spring)*, *19*(8), 1601-1608.
<https://doi.org/10.1038/oby.2011.27>
- Watson, T. D., & Garvey, K. T. (2013). Neurocognitive correlates of processing food-related stimuli in a Go/No-go paradigm. *Appetite*, *71*, 40-47.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.07.007>
- Werle, D., Schroeder, P. A., Wolz, I., & Svaldi, J. (2021). Incentive sensitization in binge behaviors: A mini review on electrophysiological evidence. *Addictive Behaviors Reports*, *13*, 100344. <https://doi.org/10.1016/j.abrep.2021.100344>
- White, M. A., & Grilo, C. M. (2011). Diagnostic efficiency of DSM-IV indicators for binge eating episodes. *J Consult Clin Psychol*, *79*(1), 75-83.
<https://doi.org/10.1037/a0022210>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* [PDF]. Springer International Publishing.
- Wie, T., & Simko, V. (2021). *R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix*.
<https://github.com/taiyun/corrplot>
- Wiss, D. A., Avena, N., & Rada, P. (2018). Sugar Addiction: From Evolution to Revolution. *Front Psychiatry*, *9*, 545. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2018.00545>
- Wittchen, H.-U., Wunderlich, U., Gruschwitz, S. & Zaudig, M. (1997). *SKID I. Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV. Achse I: Psychische Störungen. Interviewheft und Beurteilungsheft. Eine deutschsprachige, erweiterte Bearb. D. amerikanische Originalversion des SKID I*. Hogrefe.

- Wolfe, B. E., Baker, C. W., Smith, A. T., & Kelly-Weeder, S. (2009). Validity and utility of the current definition of binge eating. *Int J Eat Disord*, 42(8), 674-686. <https://doi.org/10.1002/eat.20728>
- Wolz, I., Fagundo, A. B., Treasure, J., & Fernandez-Aranda, F. (2015). The processing of food stimuli in abnormal eating: a systematic review of electrophysiology. *Eur Eat Disord Rev*, 23(4), 251-261. <https://doi.org/10.1002/erv.2366>
- Wolz, I., Sauvaget, A., Granero, R., Mestre-Bach, G., Bano, M., Martin-Romera, V., Veciana de Las Heras, M., Jimenez-Murcia, S., Jansen, A., Roefs, A., & Fernandez-Aranda, F. (2017). Subjective craving and event-related brain response to olfactory and visual chocolate cues in binge-eating and healthy individuals. *Sci Rep*, 7, 41736. <https://doi.org/10.1038/srep41736>
- Yanovski, S. Z. (2003). Binge eating disorder and obesity in 2003: could treating an eating disorder have a positive effect on the obesity epidemic? *Int J Eat Disord*, 34 Suppl, S117-120. <https://doi.org/10.1002/eat.10211>
- Zhang, S., Cui, L., Sun, X., & Zhang, Q. (2018). The effect of attentional bias modification on eating behavior among women craving high-calorie food. *Appetite*, 129, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.07.004>

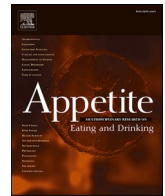
Anhang mit Publikationen

- Anhang A:
Publikation 1 (Werle, Sablottny, Ansorge, Biehl, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024)

- Anhang B:
Publikation 2 (Werle, Sablottny, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024)

Anhang A: Publikation 1 (Werle, Sablotny, Ansorge, Biehl, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024)

Werle, D., Sablotny, L., Ansorge, U., Biehl, S. C., Tuschen-Caffier, B., & Svaldi, J. (2024). Attention to food stimuli in binge eating disorder: Electrophysiological evidence. *Appetite*, 203, 107682.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107682>



Attention to food stimuli in binge eating disorder: Electrophysiological evidence

Dustin Werle^{a,*}, Lynn Sablotny^b, Ulrich Ansorge^c, Stefanie C. Biehl^{a,1},
Brunna Tuschen-Caffier^b, Jennifer Svaldi^a

^a University of Tuebingen, Department of Clinical Psychology and Psychotherapy, Germany

^b University of Freiburg, Department of Clinical Psychology and Psychotherapy, Germany

^c University of Vienna, Faculty of Psychology, Austria

ARTICLE INFO

Keywords:

Binge eating disorder
Event-related potential
Food stimuli
Motivated attention

ABSTRACT

Attentional biases towards food play an important role in the pathology of binge eating disorder (BED). Later stage electrophysiological potentials (P300, late positive potential) present promising markers of motivated attention with high temporal, albeit low spatial resolution. Complementing this, the N2pc is an earlier-latency component providing the possibility of more directly analyzing visuospatial attention. Therefore, we tested a group with BED ($N = 60$), as well as an overweight (OW; $N = 28$) and normal weight (NW; $N = 30$) group without BED in a Go/No-Go paradigm using food and nonfood distractor images. Only the OW group in exclusively the Go trials displayed a stronger spatial attention allocation towards nonfood distractors as evidenced by an increased N2pc amplitude. In the P300's time window, the OW group displayed no attentional bias towards food and the NW group only did so in the absence of a target. Solely the BED group allocated more motivated attention towards food distractors both in Go and No-Go trials. In the following late positive potential (LPP), the OW group exhibited a general attentional bias towards food distractors, while the BED group only did so in the absence of a target. These results are discussed in light of the incentive sensitization theory and a potential early attentional suppression of potent distractors.

1. Introduction

Binge eating disorder (BED) is characterized by a recurring pattern of binge eating episodes in the absence of compensatory behavior (American Psychiatric Association, 2013). With an estimated lifetime prevalence of around 2.8%, it represents the most frequently occurring eating disorder (Hudson et al., 2007). The disorder is associated with an increased risk of obesity (Fairburn et al., 1998), a substantially reduced quality of life (Rieger et al., 2005), as well as an elevated mortality rate (Arcelus et al., 2011; Fichter et al., 2008). Despite the heavy burden of disease, only 43.6% of individuals suffering from BED seek treatment for their disorder (Hudson et al., 2007). Among those who seek treatment, only 45–54% of affected patients achieve abstinence from binge eating at posttreatment and drop-out rates average around 20% (Hilbert et al., 2019). This highlights the importance of more precisely understanding

etiological and maintaining factors of binge eating in BED.

Originally conceptualized in a biopsychological theory of drug craving and addiction (Berridge & Kringelbach, 2015; Robinson & Berridge, 1993), incentive sensitization has been proposed as a central process in binge eating (Bello & Hajnal, 2010; Berridge, 2009; Wang et al., 2011). Accordingly, food stimuli trigger dopaminergic activation in the brain (Volkow et al., 2011; Wise, 2006), making such stimuli exceptionally attractive and wanted. Particularly, research suggests that the dopamine increase primarily serves to draw an individual's attention towards appetitive stimuli that predict reward (Franken, 2003; Schultz, 1998; Wickelgren, 1997), while at the emotional level, this (classically conditioned) response becomes evident as craving (also see Joyner et al., 2015).

In recent years, a multitude of studies has examined altered motivated attention to food as an important mechanism underlying BED.

Abbreviations: BED, binge eating disorder; OW, overweight; NW, normal weight; EEG, electroencephalography; ERP, event-related potential; LPP, late positive potential.

* Corresponding author. University of Tübingen, Psychological Institute, Schleierstraße 4, 72076, Tübingen, Germany.

E-mail address: REMOVED IN PUBLICATION AS DEMANDED.

¹ Current affiliation: University of Applied Sciences Fulda, Department Nutritional, Food and Consumer Sciences, Germany.

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107682>

Received 1 March 2024; Received in revised form 9 August 2024; Accepted 16 September 2024

Available online 18 September 2024

0195-6663/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Increased attention towards food stimuli in individuals with BED was shown in visual dot-probe paradigms (Deluchi et al., 2017; Schmitz et al., 2014), attentional blink tasks (Schmitz et al., 2015), as well as in free-viewing and antisaccade tasks utilizing eye-tracking measures (Popien et al., 2015; Schag et al., 2013).

Notably, while eye-tracking measures yield the advantage of a continuous detection of attentional processes (Holmqvist et al., 2011), overt gaze behavior and attention allocation are dissociable processes (Posner, 1980; Wolfe & Horowitz, 2004). In other words, gaze direction can deviate from attention orientation. Actually, this dissociation occurs quite frequently given the fact that shifts in visuo-spatial attention frequently have to occur for the selection of the subsequent saccade target during the current fixation (Reichle et al., 2003; Rizzolatti et al., 1987, 1994). Electroencephalography (EEG) poses a comparatively direct measure of both overt and covert attentional processes. In the domain of food processing, the N200 as well as the following P300 component and late positive potential (LPP) have been of particular interest (Werle et al., 2021; Wolz et al., 2015).

The P300 is a positive potential peaking at around 300 ms after stimulus onset. It is larger for emotionally arousing stimuli (Olofsson et al., 2008) and reflects subjective motivational properties of stimuli (Begleiter et al., 1983; Carrillo-de-la-Peña & Cadaveira, 2000). Increased positivity towards emotional stimuli was shown to outlast the P300's timeframe at parietal, occipital and central positions, and has been denoted as LPP (e.g., Foti et al., 2009; Foti & Hajcak, 2008). Its magnitude is associated with subjective arousal ratings of the presented stimuli, making it similarly interesting in the investigation of motivational processing of food cues (Cuthbert et al., 2000; Weinberg & Hajcak, 2010). Indeed, the presentation of food images generally elicited stronger P300 and LPP compared to neutral images in both normal weight and obese samples (Carbine et al., 2018). Notably, several studies demonstrate these food-specific tendencies to be influenced by eating pathology: Larger food-related amplitudes in P300 and LPP occurred in samples with more dietary restraint (Hofmann et al., 2015), external eating (Nijs et al., 2009), as well as emotional eating (Blechert et al., 2014; Meule et al., 2013; Wu et al., 2018). This notion is also mirrored in samples with eating disorders: Stronger food-related attentional biases have been shown for individuals with anorexia nervosa (Novosel et al., 2014), loss of control eating (Biehl et al., 2019), and binge eating symptoms (Schienle et al., 2017). The currently only study assessing late event-related potentials (ERPs) in a BED sample supports the evidence for food-related increased motivated attention as indicated by other measures (Svaldi et al., 2010).

While there have been several studies analyzing later electrophysiological potentials following food stimuli, findings regarding the earlier N200 component are rather sparse. The N200 denotes a mostly central and parietal negativity peaking approximately 250 ms after stimulus presentation (Hajcak et al., 2012). It is associated with an early selective attention towards specific stimulus features and is larger in amplitude for emotional stimuli (Olofsson & Polich, 2007). Similar to later potentials, food images elicit enhanced N200 components, especially in people with high external eating scores (Watson & Garvey, 2013) and binge eating behavior (Wolz et al., 2017).

Albeit considerable neurophysiological evidence for altered attentional processing of food in individuals with BED, neither general N200 nor later potentials provide a way to directly analyze visuospatial attention (Nijs et al., 2010). In contrast, the N2pc is a promising lateralized ERP, novel to the investigation of BED. It is evoked in tasks that require participants to filter out irrelevant distractor stimuli in order to correctly discriminate a task-relevant target. The potential consists in an increased negativity over the posterior hemisphere, contralateral to an attended-to stimulus (e.g., a target) in the visual field. Thereby, it does not only capture covert attention but also allows the investigation of spatio-temporal properties of attention allocation (Eimer, 1996; Heinze et al., 1990; Luck & Hillyard, 1994). More detailed analyses have shown that in situations with a target on one side (e.g., left) and a distractor on

the other side (e.g., right), the N2pc is in fact the combination of two lateralized components: capture of attention by the target, reflected in the N_T , and inhibition of the distractor, reflected in a P_D (Hickey et al., 2009). While the N_T represents a measure of enhancement of an attended stimulus' neural representation (Hickey et al., 2009), the P_D represents a measure of direct suppression of distractor representation or an attempt to prevent attention allocation towards distractors (Burra & Kerzel, 2014; Hickey et al., 2009; Sawaki et al., 2012). The N_T is typically evoked by lateralized target stimuli and becomes apparent in a stronger negativity contra- than ipsilateral to the target; the P_D is typically evoked by lateralized distractor stimuli (even, when there is no lateralized target) and becomes apparent in a stronger positivity ipsi- than contralateral to the distractor. So, in the case of both lateralized target and distractor displays, differences between lateral posterior electrodes (e.g. PO7 and PO8) reflect the sum of both these effects.

Similar to later ERPs, the N2pc also showed characteristic responses in reaction to food stimuli: Usually, distractor stimuli only evoke an N2pc when they are in some way relevant to the identification of a *target* (e.g., by being very similar to the target in some features; Leblanc et al., 2008; Luck & Hillyard, 1994). However, for the domain of food-related attention processing (relative to non-food processing), there is also evidence that the N2pc reflects a strong attentional orientation towards food *distractors*, even when they are irrelevant for target selection (Kumar et al., 2016).

In the present study, we deployed a modified version of the Go/No-Go paradigm based on previous work (Grubert & Eimer, 2013). The Go/No-Go paradigm requires participants to focus selective attention towards task relevant information (Diamond, 2013; Piani et al., 2022), while valenced distractors can elicit automatic attention allocation to distractors (Elliott et al., 2002). Crucially, food-specific Go/No-Go ERPs were previously shown to mirror findings from picture viewing tasks (Watson & Garvey, 2013). We used this paradigm in a sample of men and women with BED (BED group), a weight-matched sample without BED (OW group), and a healthy, normal weight group (NW group). Participants were presented stimulus pairs (one on the left, one on the right of a computer display) and were required to identify digits of a certain target color (e.g., each turquoise digit), while ignoring three types of distractor stimuli. The distractor stimuli included digits of another color (e.g., a purple digit), high-caloric food pictures, and nonfood pictures. In Go trials, one target digit and one distractor were present, while in No-Go trials two distractors were simultaneously presented. As stated above, for displays where both target and distractor are simultaneously and laterally presented on opposite sites (as in the present case), differences between lateral posterior electrodes reflect both processes of the N_T and the P_D . Consequently, possible N2pc effects (operationalized by differences in PO7/PO8 amplitudes) result from either differences in the enhanced attention towards an attended stimulus (reflected by the N_T), differences in the inhibition or lowering of attentional priority of the not-attended stimulus (reflected by the P_D), or differences in both.

In No-Go trials, under the perspective of capture by incentivizing food items, we hypothesized stronger N2pc amplitudes contralateral to high-caloric food distractors compared to nonfood distractors, with largest differences in the BED group (hypothesis [H1]). In Go trials, we expected only high-caloric food distractors but not nonfood distractors to draw attention away from the target. This means that the target-elicited N2pc, which we calculated and analyzed in the Go trials, should be weaker or delayed if a food picture, competing more for spatial attention than a nonfood picture, was presented opposite to the target than when a nonfood picture was shown on the other side. Again, these effects were expected to be more pronounced in the BED group (H2). We expected overall enhanced P300 (H3) and LPP amplitudes (H4) in Go and No-Go trials with high-caloric food distractors relative to trials with nonfood distractors. This effect was expected to be more pronounced in the BED relative to the control groups.

2. Method

2.1. Participants

The present study was conducted as part of the baseline assessment of individuals with BED prior to randomization in a comparative randomized controlled trial (RCT; ethical vote: 232/2015B01). Data from the comparative bias modification RCT will be presented elsewhere, among others in Werle et al. (2024).

Participants between the ages of 18 and 69 years were simultaneously recruited at the two study centers via advertisements in local newspapers, flyers in doctor's offices, and university e-mail distribution lists. The BED sample consisted of 60 subjects meeting the BED criteria of the Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM 5; American Psychiatric Association, 2013). Individuals with a BMI over 45 kg/m² were not included into the study. The overweight sample ($n = 28$) was matched to the BED sample regarding BMI. Our normal weight sample ($n = 30$) was recruited in a BMI range from 17.5 kg/m² to 24.9 kg/m². Exclusion criterion for the control groups was a lifetime diagnosis of any eating disorder. Exclusion criteria for all groups were the presence of substance abuse or addiction, bipolar disorder, current psychosis or schizophrenia, current suicidal ideation, pregnancy, lactation, severe physical illness and eye diseases, as well as an ongoing psychotherapy or weight reduction program. Imbalance in sample sizes between the BED group and both control groups (ratio approximately 2:1:1) were chosen by study design, as only the BED group was subsequently randomized into two different training groups for the comparative bias modification RCT.

BED diagnosis was established by the Eating Disorder Examination (EDE; Fairburn et al., 2008; German version: Hilbert et al., 2004). The remaining diagnoses were determined by the administration of the Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I (SCID; First et al., 1996; German version: Wittchen et al., 1997) and Axis II (First et al., 1997; German version: Fydrich et al., 1997). All descriptive sample characteristics are displayed in Table 1. Questionnaire data (EDE-Q and BDI-II) were available for 108 participants. Sum of objective binge episodes over past 3 months could be assessed for all but 2 participants in the BED sample, where an exact number for respectively one month was impossible to determine in the interview. In both cases, however, a BED diagnosis could still be ensured.

2.2. Materials

Participants finished a color-based Go/No-Go task, while EEG was synchronously recorded. In each trial, two different stimuli were

Table 1
Descriptive study characteristics by group.

Group	BED	OW	NW
Age	37.13 (14.47)	34.93 (14.41)	27.37 (9.63)
Sex assigned at birth (f/m)	50/10	19/9	24/6
BMI	29.42 (5.99)	28.61 (3.50)	21.69 (1.74)
BDI-II	14.13 (10.55)	2.56 (4.48)	2.14 (3.45)
EDE-Q	3.74 (1.10)	1.66 (.66)	1.33 (.40)
Sum of OBE over past 3 months	40.76 (31.87)	0	0
Percentage comorbid Axis I diagnosis	40.0	14.3	6.7
Percentage comorbid Axis II diagnosis	13.3	7.1	.0

Note. BED = binge eating disorder; OW = overweight; NW = normal weight; f = female; m = male; BMI = body-mass-index; BDI-II = Beck Depression Inventory II; EDE-Q = Eating Disorder Examination – Questionnaire; OBE = objective binge episodes.

simultaneously presented on the left and right side of a fixation cross on a neutral gray background. Stimuli consisted of *target digits* (Numbers 1–4 in target color), *distractor digits* (Numbers 1–4 in distractor color), 28 *distractor food pictures* (high-caloric food) and 28 *distractor nonfood pictures* (office supplies). The four stimulus categories resulted in six possible combinations of stimuli from different categories (1: *target digit* × *distractor digit*; 2: *target digit* × *distractor food picture*; 3: *target digit* × *distractor nonfood picture*; 4: *distractor digit* × *distractor food picture*; 5: *distractor digit* × *distractor nonfood picture*; 6: *distractor food picture* × *distractor nonfood picture*).

Target color was chosen to be either turquoise or purple, with the remaining color automatically being the distractor color. This assignment was counterbalanced across all participants. For all trials with a target or distractor digit, the identity of the digit was randomly selected to be equally likely any of the numbers from 1 to 4. In trials with a target and distractor digit, numbers were set to be different from one another. Participants completed the task with four buttons on an RB-840 response pad (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA). Each button was assigned to one number between 1 and 4. Participants were instructed to press the corresponding button, when a target digit was displayed and to withhold their response if no target digit was presented.

All pictures were acquired from Shutterstock (Shutterstock, Inc., New York, NY, USA). Picture size was 300 × 500 pixels, and all pictures were matched in luminance. Each stimulus pair was displayed for 150 ms, followed by a jittered interstimulus interval between 2.0 and 2.2 s. After participants completed 12 practice trials with feedback and further 12 practice trials without feedback, they were left alone in the data collection chamber and the data acquisition phase of the experiment was started. For the experimental task, each picture was presented twice on each side in each condition, resulting in a total number of 672 trials. The task was divided into four equally long blocks with the possibility of taking a short break after each block. A schematic representation is given in Fig. 1.

2.3. Procedure

The present experiment was part of a large-scale study on attentional bias modification. Initially, all potential participants were screened by phone interview regarding inclusion and exclusion criteria. Subsequently, all suitable participants were invited to extensive clinical diagnostics via SCID and EDE (Fydrich et al., 1997; Hilbert & Tuschen-Caffier, 2016; Wittchen et al., 1997). Afterwards, participants were measured and weighed in light clothing. Finally, participants completed the Beck Depression Inventory II (BDI-II; Beck et al., 1996), which uses 21 items to assess self-reported depression symptoms over the past two weeks and the Eating Disorder Examination – Questionnaire (EDE-Q; Fairburn & Beglin, 1994), which assesses eating pathology over the past four weeks via 28 items in an online survey.

In order to ensure a comparable hunger state on the day of testing, all measurements were scheduled between 8 a.m. and 10 a.m. Participants were instructed to abstain from any food, starting from 10 p.m. in the evening preceding the appointment. Right before the EEG recording was conducted, participants received a standardized breakfast consisting of two bread buns with topping, a glass of tap water, and a cup of coffee or tea. Following this, the electrodes were mounted, and participants were escorted to a dimly lit, sound-attenuated booth, where the experiment was executed.

During the experiment, participants were seated 60 cm away from the screen with both index and middle fingers on the response pad (left middle on 1, left index on 2, right index on 3, and right middle on 4). Before and after the Go/No-Go task, participants indicated their current level of craving by completing a translated version of the modified State Food-Craving Questionnaire (FCQ-S; Cepeda-Benito et al., 2000; modified version: Nijs et al., 2007; German version: Meule et al., 2012). The questionnaire consists of 15 items that were answered on a five-point Likert scale. Internal consistency was excellent (pre experiment: $\alpha =$

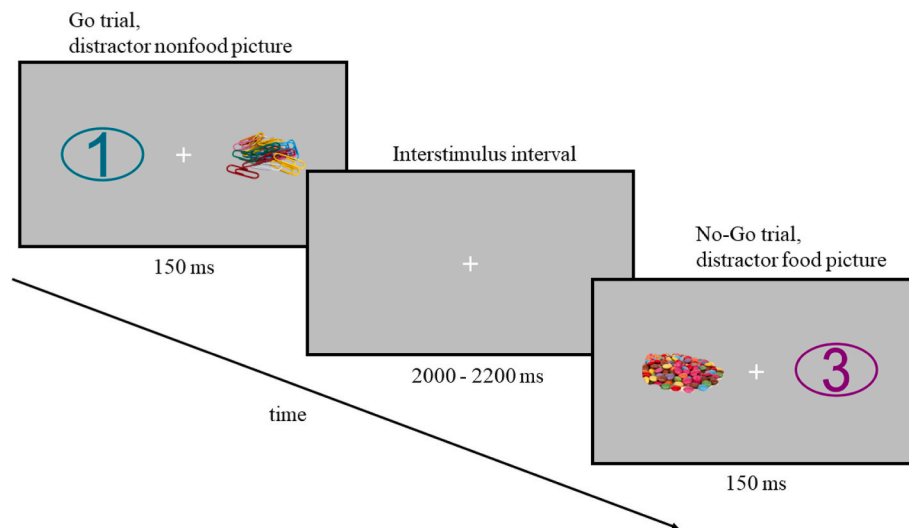


Fig. 1. Example of a Go trial (with target color turquoise) and a distractor nonfood picture followed by the interstimulus interval and a No-Go trial with a distractor food picture

Note. The pictures presented here are for illustrative purposes only and were not used in the study.

.95, post experiment: $\alpha = .96$). Finally, participants rated all previously displayed pictures regarding valence, arousal, and tastiness on three visual analog scales ranging from .00 to 1.00. The duration of the entire procedure was approximately 2 h.

2.4. Data preprocessing

EEG was recorded from 64 Ag/AgCl active electrodes on an actiCHamp and QuickAmp amplifier (Brain Products GmbH, Gilching, Germany), with impedances kept below 15 k Ω . On the actiCHamp, an online reference placed on the left earlobe was used, on the QuickAmp common average served as online reference. In both cases, common average was used as offline reference. Sampling rate was 500 Hz. For later ocular artifacts correction (Gratton et al., 1983), passive electrodes were used to record eye movements. Two electrodes were therefore placed above and under the right eye, another two on the outer canthi of each eye. Data was excluded based on excessive voltage steps (>100 μ V/ms), large difference of values (>200 μ V in 200 ms intervals), and low electrode activity (<.5 μ V/100 ms). A band pass filter of .1–30 Hz was applied. Afterwards, further noise and movement artifacts were manually removed, and data was transformed to an average recorded reference. All EEG data from trials with incorrect behavioral performance were excluded.

Data were subsequently segmented into 1200 ms epochs, starting from 200 ms before trial onset. The 200 ms before trial onset were then used for a baseline correction. Finally, epochs were averaged for each trial type.

In order to avoid a cumulation of type-I-error and following the recommendations of Luck and Gaspelin (2017), we defined time window and electrode cluster for each component before analyzing the data based on literature. For the N2pc, we adopted electrode positions and time window from the study of Grubert and Eimer (2013), on which the current study's paradigm is based on. Accordingly, the N2pc was measured based on mean amplitudes between 180 and 280 ms after stimulus onset at lateral posterior electrodes PO7 and PO8. For the P300, we adopted electrode positions and time window from a study on the processing of visual food stimuli in adolescents with loss of control eating, which employed the identical paradigm with an identical stimulus set as the present study (Biehl et al., 2019). Correspondingly, the channels Oz, O1, O2, POz, PO3, and PO4 in the time window between 300 and 360 ms after stimulus onset were selected and averaged. However, for the P300, this definition resulted in both a shorter than

usual time window and a more occipital than usual electrode cluster² (see Hiluy et al., 2021 for an overview) relative to the Biehl et al. (2019) study. Therefore, we additionally performed a visual inspection of the topographical scalp distributions and thus collapsed across all conditions of interest to avoid inflating the risk of false positive results, which is in line with the proposition of Luck and Gaspelin (2017). This procedure revealed a pronounced positivity that was indeed present for a longer time window between 300 and 500 ms in a more parietal cluster than previously selected based on the literature. Consequently, we performed an additional analysis of our P300 hypotheses for the channels CPz, P3, P1, Pz, P2, P4, PO3, POz and PO4 between 300 and 500 ms after stimulus onset. We report this additional analysis in full in the Supplementary Material, Section 6.5, and include the results in our discussion. Finally, we adopted electrode positions and time window for the LPP from a study on the processing of food pictures in a sample of individuals with BED (Svaldi et al., 2010). Thus, regional amplitudes were extracted as averages of the electrode positions C3, C4, CP1, Cz, CP2, and Pz in the latency windows from 500 to 800 ms. Topographical scalp distribution of the N2pc, P300 and LPP are depicted in Fig. 2.

2.5. Power analysis

We conducted simulated a-priori power analyses to assess the power for a multitude of sample and effect sizes. Given that the N2pc analyses utilize the smallest electrode clusters, the smallest power is to be expected for these models. With our actual sample size, our power analysis revealed that effects of small magnitude could be detected with a power of $(1 - \beta) \geq .914$ in our N2pc models.

2.6. Statistical analyses

Mean activity in all selected channels was exported for each participant and further analyzed in R (R Core Team, 2021). For all analyses, mean amplitudes were analyzed via linear mixed models using the lme4 package (Bates et al., 2015). We used likelihood ratio tests to select the best fitting model.

In order to test for our first N2pc hypothesis (H1), only No-Go trials with both a distractor food picture and a distractor nonfood picture were selected. This resulted in an average of 77.9 trials, a minimum of 20

² We thank the anonymous reviewer for this valuable advice.

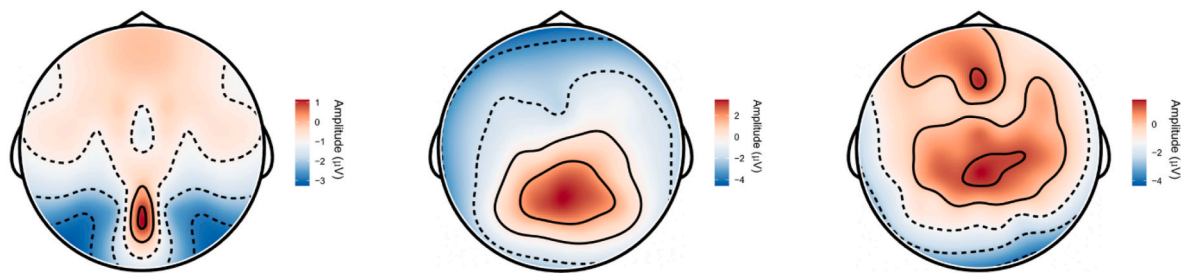


Fig. 2. Topographical scalp distribution for N2pc (left side), P300 (middle) and late positive potential (LPP; right side)

Note. N2pc scalp distribution (180–280 ms) displays the difference of hemispheres contralateral minus ipsilateral of target, across all Go trials, mirrored at midline. P300 (300–360 ms) and LPP scalp distributions (500–800 ms) display the grand average across all trials.

trials and a maximum of 112 trials per person in the BED group, an average of 78.0 trials, a minimum of 22 trials and a maximum of 112 trials per person in the OW group and an average of 62.1 trials, a minimum of 23 trials and a maximum of 107 trials per person in the NW group for this analysis. For each trial, we calculated the difference between the amplitude contralateral and the amplitude ipsilateral to the distractor food picture (i.e., if the distractor food picture was presented on the left side, we calculated PO8 – PO7, if on the right side, PO7 – PO8). *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor. It was then tested, whether the main effect of *Group* significantly affected the calculated difference averaged across presentation sides. Analyses for trials with a distractor digit on one side, and a distractor food- or nonfood-picture on the other side are reported in the Supplementary Material under Section 6.2.

Regarding the second N2pc hypothesis (H2), only Go trials with either a distractor food picture or a distractor nonfood picture were selected. This resulted in an average of 161.0 trials, a minimum of 23 trials and a maximum of 223 trials per person in the BED group, an average of 167.0 trials, a minimum of 30 trials and a maximum of 224 trials per person in the OW group and an average of 131.3 trials, a minimum of 25 trials and a maximum of 216 trials per person in the NW group for this analysis. For each trial, we calculated the difference between the amplitude contralateral minus the amplitude ipsilateral to the target (target-elicited N2pc). *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor. *Distractor Type* (distractor food picture/distractor nonfood picture) was entered as within-subjects factor. It was tested whether the twofold interaction between *Group* and *Distractor Type* significantly influenced the calculated difference. Additionally, we repeated this analysis post-hoc with an earlier time window (130–230 ms) after visual inspection. Results and further details are presented in the Supplementary Material, Section 6.3. Furthermore, we conducted another post-hoc analysis in the N2pc time window, where we included not only the *distractor food picture* and *distractor nonfood picture* as levels of *Distractor Type*, but also the *distractor digit*. Results and further details are presented in the Supplementary Material, Section 6.4.

For the P300- and LPP-analyses (H3 and H4), both Go and No-Go trials with either a distractor food picture or distractor nonfood picture were analyzed. This resulted in an average of 315.6 trials, a minimum of 71 trials and a maximum of 447 trials per person in the BED group, an average of 320.0 trials, a minimum of 76 trials and a maximum of 446 trials per person in the OW group and an average of 250.7 trials, a minimum of 68 trials and a maximum of 430 trials per person in the NW group for this analysis. *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor. *Distractor Type* (distractor food picture/distractor nonfood picture) and *Trial Type* (Go/No-Go trial) were entered as within-subjects factors. In a first step, we tested for a threefold interaction between *Group*, *Distractor Type*, and *Trial Type*. In case of a significant threefold interaction, we analyzed Go and No-Go trials separately. For both trial types, it was then tested, whether the twofold interaction between *Group* and *Distractor Type* significantly influenced the amplitude measured at the respective electrode positions.

For our food-craving analysis, *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor and *Time of Measurement* (pre/post experiment) was entered as within-subjects factor. We exploratorily tested, whether the two-way interaction between *Group* and *Time of Measurement* significantly predicted food-craving. Craving data were available for 111 participants (BED: $n = 54$; OW: $n = 28$, NW: $n = 29$). For the remaining seven participants, no craving data were exported due to a faulty procedure in the software running the experiment.

In order to analyze subjective valence, arousal, and tastiness ratings, *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor and *Stimulus Type* (food/nonfood) as within-subjects factor. We exploratorily tested whether the two-way interaction between *Group* and *Stimulus Type* significantly predicted the respective rating. Rating data were available for 111 participants.

Behavioral data of Go trials with distractor pictures were analyzed with generalized linear mixed models for predicting error probability and with linear mixed models for predicting reaction times. *Group* (BED/OW/NW) was entered into the model as between-subjects factor and *Distractor Type* (distractor food picture/distractor nonfood picture) as within-subjects factor. We exploratorily tested for a main effect of *Group* and for a two-way interaction between *Group* and *Distractor Type*. Reaction time data were available for 107 participants (BED: $n = 52$; OW: $n = 26$, NW: $n = 29$). For the remaining 11 participants, again, no reaction time data were exported due to a faulty procedure in the software running the experiment.

In case of significant two-way interactions, within-group differences were investigated post-hoc via estimated marginal means with the emmeans package (Lenth, 2022).

Relations between eating pathology measured by the EDE-Q and P300/LPP amplitudes were analyzed exploratorily via Pearson correlations.

Significance level for all tests was set to $\alpha = .05$. For each selected model, beta parameter estimates for fixed effects are listed in Table 2 in the Supplementary Material under Section 6.1.

2.7. Transparency and openness

The underlying RCTs design has been preregistered at German Clinical Trials Register (ID: DRKS00012984; <https://drks.de/search/en/trial/DRKS00012984>). All post-hoc analyses are clearly marked as such. Anonymized pre-processed data and analysis code are available via request to the authors. Stimuli used in the paradigm cannot be shared due to licensing conditions.

3. Results

3.1. EEG data

3.1.1. N2pc (H1, H2)

3.1.1.1. No-Go trials (H1). There was no significant main effect of

Group on the mean N2pc difference in No-Go trials, $\chi^2(2) = 1.29, p = .526$. Furthermore, the contra-to-ipsilateral difference was not significantly different from zero, indicating no effect of Distractor Type, $\chi^2(1) = 3.08, p = .079$; BED: $M = .13, SD = 2.97$; OW: $M = .04, SD = 3.20$; NW: $M = .32, SD = 4.08$.

3.1.1.2. Go trials (H2). There was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the mean N2pc difference in Go trials, $\chi^2(2) = 9.81, p = .007$. Post-hoc contrasts revealed that only the OW group displayed a significantly stronger target-elicited N2pc with food distractors on the other side compared to trials with nonfood distractors on the other side, $z = 4.27, p < .001$. This indicates either more capture by nonfood items or more inhibition of food items in this group. There were no significant effects of Distractor Type on N2pc difference in the BED, $z = 1.84, p = .065$, and the NW group, $z = .11, p = .914$. Results are also depicted in Fig. 3.

3.1.2. Later lateralization in go trials (post-hoc analysis)

Upon visual inspection of the grand average N2pc amplitude difference wave in Go trials (see Fig. 3) we found a noteworthy pattern: There seemed to be an interaction between Group \times Distractor Type on the lateralization for a later time window than the N2pc, at about 300–500 ms after stimulus onset. Subsequently, we tested this

interaction for statistical significance by the same means as in our analysis for H2. Indeed, there was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the later lateralization, $\chi^2(2) = 42.35, p < .001$. Post-hoc contrasts revealed significant differences between food and nonfood distractors for all groups, all $|z|s > 3.29$, all $ps \leq .001$: The OW group showed the same pattern as in the N2pc, meaning more capture by nonfood distractors or more inhibition of food distractors. Unlike in the N2pc, the BED group shares this pattern of potentially increased inhibition of food items at a later stage. By contrast, only the NW group shows the inverse pattern of increased capture by food distractors or reduced inhibition of nonfood distractors.

3.1.3. P300 (H3)

There was a significant threefold interaction of Group \times Distractor Type \times Trial Type on the mean P300 amplitude, $\chi^2(2) = 90.75, p < .001$. To understand the origin of this three-way interaction, Go and No-Go trials were further analyzed separately. All P300 results are depicted in Fig. 4.

3.1.3.1. No-Go trials. There was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the mean P300 amplitude in No-Go trials, $\chi^2(2) = 109.50, p < .001$. P300 amplitude was higher for food distractors compared to nonfood distractors in the BED and NW groups. In contrast,

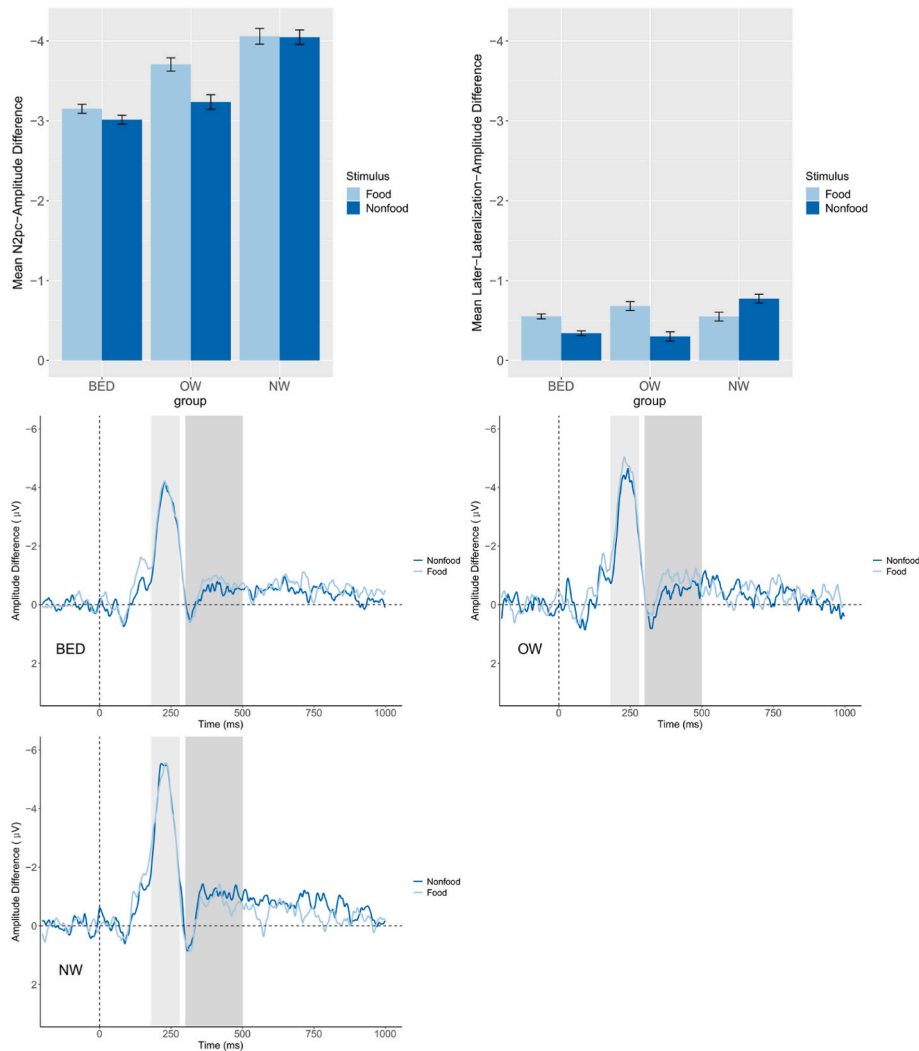


Fig. 3. Grand average of target-elicited N2pc- and later lateralization-amplitude difference and mean N2pc- and later lateralization-amplitude difference (amplitude contralateral - amplitude ipsilateral to the target picture) in Go trials, with SE bars for each group
 Note. In the line graphs, the gray areas depict the N2pc (light gray) and later lateralization (dark gray) analyses windows.

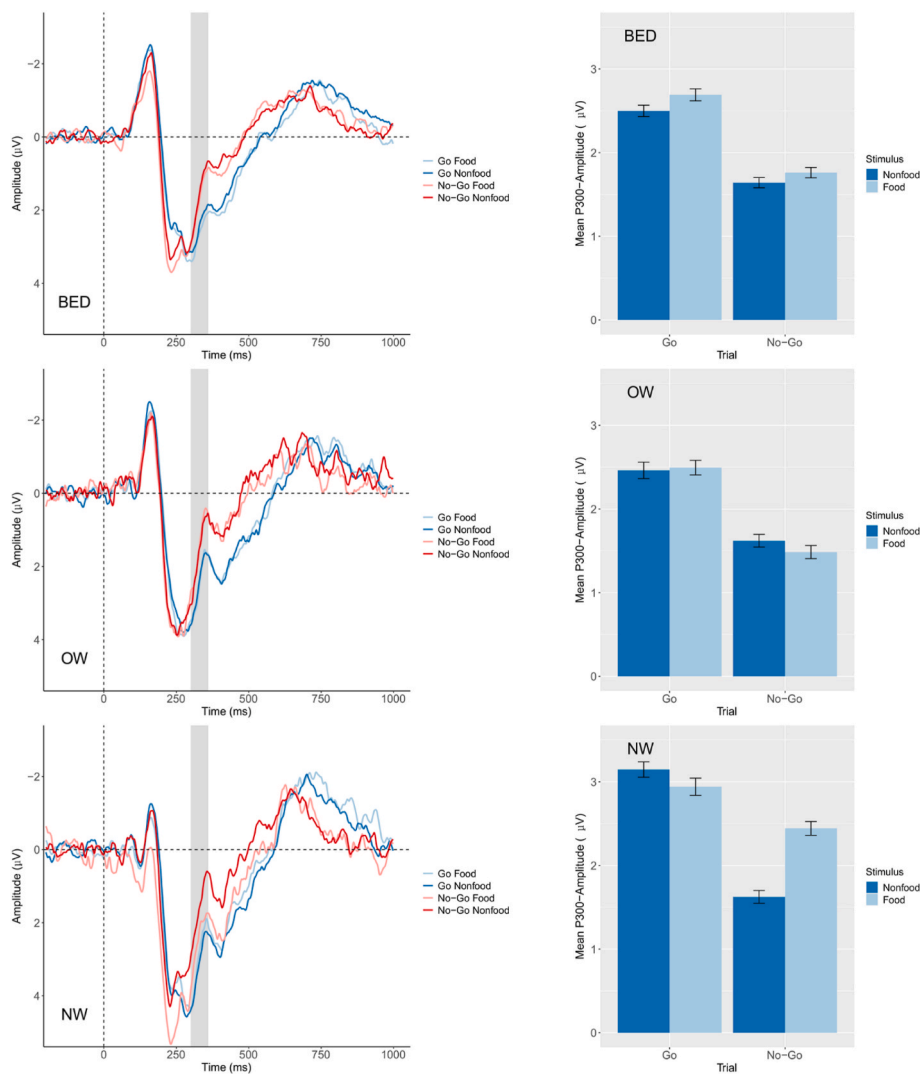


Fig. 4. Grand average of P300 amplitudes (on the left) and mean P300 amplitudes with SE bars for each group in Go and No-Go trials (on the right) *Note.* In the grand averages, the dotted vertical line marks stimulus onset and the gray area marks the window of the analysis of the P300.

P300 amplitude was higher for nonfood distractors in the OW group. Post-hoc contrasts revealed all differences to be statistically significant, all $|z|s > 1.99$, all $ps < .046$. Note that the pattern of results for the OW group was different when the post-hoc analysis was based on a longer time window and more parietal electrode clusters (see Section 6.5 in the Supplementary Material the full analysis).

3.1.3.2. Go trials. There was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the mean P300 amplitude in Go trials, $\chi^2(2) = 26.04$, $p < .001$. P300 amplitude was higher for food distractors compared to nonfood distractors in the BED and OW group. In contrast, P300 amplitude was higher for nonfood distractors in the NW group. Post-hoc contrasts revealed only the differences in the BED, $z = -4.30$, $p < .001$, and NW, $z = 3.21$, $p = .001$, groups to be statistically significant but not the difference in the OW group, $z = -.50$, $p = .614$. Note that the pattern of results for both control groups differed when post-hoc analysis was based on a longer time window and more parietal electrode clusters (see Section 6.5 in the Supplementary Material).

3.1.4. LPP (H4)

There was a significant threefold interaction of Group \times Distractor Type \times Trial Type on the mean LPP amplitude, $\chi^2(2) = 20.51$, $p < .001$. Again, to understand the three-way interaction, Go and No-Go trials

were further analyzed separately. All LPP results are depicted in Fig. 5.

3.1.4.1. No-Go trials. There was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the mean LPP amplitude in No-Go trials, $\chi^2(2) = 24.84$, $p < .001$. LPP amplitude was numerically higher for food distractors compared to nonfood distractors in all groups. However, post-hoc contrast revealed only the differences in the BED, $z = -8.73$, $p < .001$, and OW, $z = -7.78$, $p < .001$, groups to be statistically significant, but not the difference in the NW group, $z = -1.14$, $p = .256$.

3.1.4.2. Go trials. There was a significant two-way interaction of Group \times Distractor Type on the mean LPP amplitude in Go trials, $\chi^2(2) = 68.53$, $p < .001$. LPP amplitude was higher for food distractors compared to nonfood distractors only in the OW group. In contrast, LPP amplitude was higher for nonfood distractors in the BED and NW groups. Post-hoc contrasts revealed all differences to be statistically significant, all $|z|s > 4.09$, all $ps < .001$.

3.2. Food craving

All food-craving results are depicted in Fig. 6.

There was no significant two-way interaction of Group \times Time of Measurement on food craving, $\chi^2(2) = 3.16$, $p = .206$. However, both

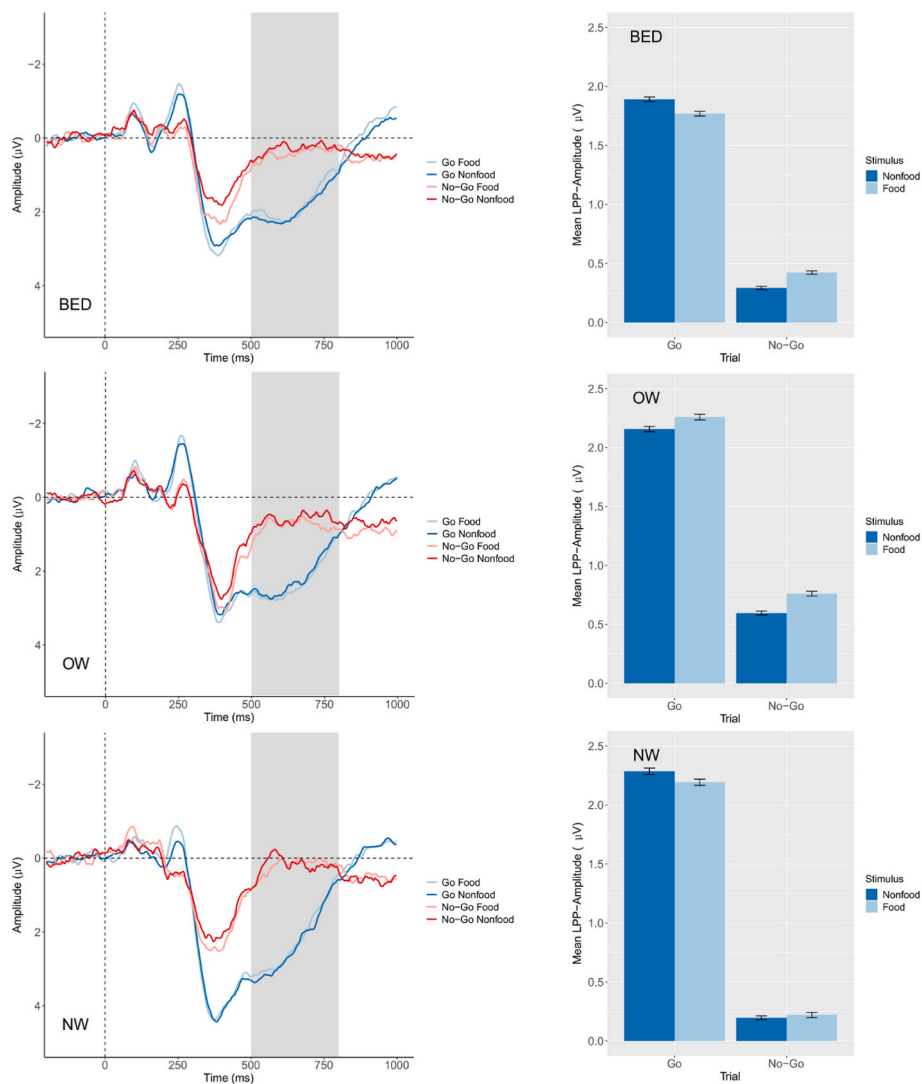


Fig. 5. Grand average of late positive potential (LPP) amplitudes (on the left) and mean LPP amplitudes with SE bars for each group in Go and No-Go trials (on the right)
Note. In the grand averages, the dotted vertical line marks stimulus onset and the gray area depicts the analysis window of the LPP.

main effects significantly influenced food craving, Group: $\chi^2(2) = 38.48, p < .001$; Time of Measurement: $\chi^2(1) = 5.31, p = .021$. Post-hoc contrasts revealed a higher food craving in the BED group compared to both other groups, OW: $t(114) = -4.85, p < .001$; NW: $t(114) = 6.00, p < .001$, while the OW and NW groups did not differ significantly from each other, $t(114) = .95, p = .611$. Furthermore, food craving was generally higher post experiment compared to pre experiment, $t(112) = 2.32, p = .022$.

3.3. Stimulus rating

All stimulus rating results are depicted in Fig. 7.

There was a significant two-way interaction of Group \times Stimulus type on valence ratings, $\chi^2(2) = 106.04, p < .001$. Post-hoc contrasts revealed that all groups rated food stimuli with a higher valence compared to nonfood stimuli, all $|z|s > 4.88, all ps < .001$. The difference in the BED group was significantly larger than in both other groups, which did not significantly differ from one another, BED vs. OW: $\chi^2(1) = 79.91, p < .001$; BED vs. NW: $\chi^2(1) = 53.45, p < .001$; OW vs. NW: $\chi^2(1) = 3.15, p = .076$.

There was a significant two-way interaction of Group \times Stimulus type on arousal ratings, $\chi^2(2) = 412.54, p < .001$. Post-hoc contrasts

revealed that all groups rated food stimuli to be more arousing than nonfood stimuli, all $|z|s > 11.13, all ps < .001$. The difference was significantly larger in the BED than in both other groups, and larger in the NW group compared to the OW group, BED vs. OW: $\chi^2(1) = 312.88, p < .001$; BED vs. NW: $\chi^2(1) = 194.01, p < .001$; OW vs. NW: $\chi^2(1) = 15.31, p < .001$.

There was a significant twofold interaction of Group \times Stimulus type on tastiness ratings, $\chi^2(2) = 198.15, p < .001$. Post-hoc contrasts revealed that all groups rated food stimuli to be tastier than nonfood stimuli, all $|z|s > 40.50, all ps < .001$. The difference was significantly larger in the BED than in both other groups, and larger in the NW group compared to the OW group, BED vs. OW: $\chi^2(1) = 185.22, p < .001$; BED vs. NW: $\chi^2(1) = 50.89, p < .001$; OW vs. NW: $\chi^2(1) = 34.05, p < .001$.

3.4. Behavioral data

3.4.1. Error probability

There was no significant two-way interaction of Group \times Distractor Type, $\chi^2(3) = 1.46, p = .692$, and no significant main effect of Group, $\chi^2(2) = 2.48, p = .290$, on error probability. Overall percentage of errors in Go trials was 2.04%.

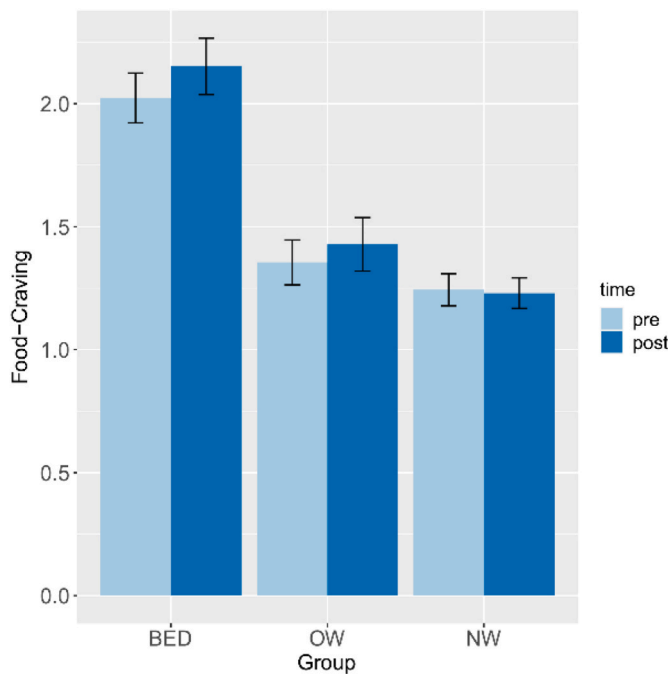


Fig. 6. Mean food-craving ratings with SE bars for each group pre- and post-experiment.

3.4.2. Reaction times

There was no significant two-way interaction of Group \times Distractor Type, $\chi^2(3) = 1.18, p = .757$, but a significant main effect of Group, $\chi^2(2) = 8.24, p = .016$, on reaction time. The NW group displayed fastest reaction times, $M = 586.8$ ms, $SD = 420.3$ ms, followed by the OW, $M = 613.9$ ms, $SD = 469.9$ ms, and then the BED group, $M = 644.7$, $SD = 583.3$ ms. Post-hoc contrasts revealed only the differences between the BED and NW groups to be significant, BED vs. OW: $z = -1.44, p = .321$; BED vs. NW: $z = 2.89, p = .011$; OW vs. NW: $z = 1.20, p = .451$.

3.5. Correlation between EEG data and eating pathology

There were no considerable correlations between EDE-Q scores and food-specific P300 amplitudes in Go trials, BED: $r = -.04$; OW: $r = -.05$; NW: $r = .17$, and No-Go trials, BED: $r = .07$; OW: $r = .09$; NW: $r = .14$. The same was true for LPP amplitudes in Go trials, BED: $r = -.03$; OW: $r = .07$; NW: $r = -.09$. In No-Go trials, there was a small negative correlation for the NW group, $r = -.30$, but no other considerable correlations, BED: $r = .09$; OW: $r = .01$.

4. Discussion

This study investigated food-related attentional processes in individuals with BED by electrophysiological data in a spatial Go/No-Go paradigm. To this end, we compared P300- and LPP amplitudes following the presentation of matched food and non-food pictures. In addition, we also examined the N2pc, an early stage ERP, which allows the investigation of spatio-temporal properties of attention allocation.

First, contrary to our hypothesis in No-Go trials (H1), there were no N2pc differences between food and nonfood stimuli across groups (but see the [Supplementary Material 6.2](#) for additional information). Second, in the Go trials (H2) we hypothesized stronger competition with target-elicited N2pc through N2pc amplitudes contralateral to high-caloric relative to nonfood distractors across groups and especially in the BED group. Surprisingly, it was the OW group that displayed a weaker target-elicited N2pc and thus, averaged across all trials, showed the highest degree of competition with a distractor, albeit for nonfood relative to food distractors. This effect of weaker target-elicited N2pc in the presence of nonfood compared to food distractors could be attributed to several possible reasons. In particular, our study design does not allow us to disentangle (weaker) attentional enhancement of target stimuli from (stronger) attentional suppression of distractor stimuli. However, a possible explanation for the weaker target-elicited N2pc in the presence of nonfood relative to food distractors could reside in a cognitive suppression of food-related stimuli, as displayed by the OW group.

Notably, [Kumar et al. \(2016\)](#) found an early attentional suppression of food stimuli measured by the N1pc. In this study ([Kumar et al., 2016](#)), an attentional orientation towards food that was correlated with BMI emerged only in the later N2pc. Further, since the N1pc time window used by [Kumar et al. \(2016\)](#) partially overlaps with the analyzed N2pc time window in the present study, the findings in our OW group might reflect a similar phenomenon of early attentional suppression of food stimuli. [Kumar et al. \(2016\)](#) argue that attention towards food distractors might be suppressed very early on, as they pose particularly potent distractors, competing for representation against a target stimulus. This could also explain the absence of N2pc effects in No-Go trials, as in these trials no target is present. Hence, comparatively less suppression of potent distractors is necessary. Of interest, compatible results were found in a food-related approach-avoidance task: Only overweight participants displayed more frequent first fixations on food, which were, crucially, significantly shorter compared to first fixations towards nonfood stimuli ([Werthmann et al., 2011](#)). The authors argue this difference might reflect a food-related avoidance strategy unique to individuals with overweight. However, we would expect that suppression of the food distractors unique to the OW group would result in increased resource consumption specifically in this group. This decrease in available resources should, in turn, affect the behavioral response of the OW group in Go trials with distractor food pictures, yet there are no

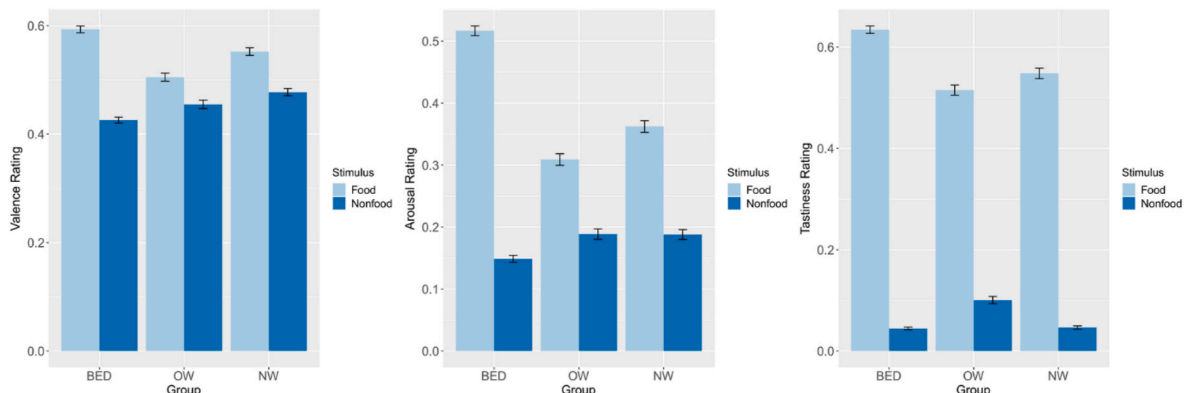


Fig. 7. Mean subjective valence, arousal, and tastiness ratings with SE bars for each group for food and nonfood stimuli.

interaction effects between Group and Distractor Type for either error probability or reaction time. It should be further noted that the interaction effect between Group and Distractor Type was not significant in our post-hoc analysis when adopting the N1pc time window used in Kumar et al. (2016). In fact, for this earlier time window, not only the OW group but all three groups showed a weaker target-elicited N1pc in the presence of nonfood distractors compared to food distractors.

If the effect in the OW group indeed reflects a food-specific suppression of attention, then there was no such suppression in the BED and NW groups, since neither the BED nor the NW group displayed differential effects on target-elicited N2pc for food versus nonfood distractors. Though, different reasons may account for the similar patterns in the BED and NW groups: For the NW group attentional suppression of food might not be as relevant, since these stimuli are appetitive but less threatening, compared to the OW and BED groups. This might especially hold true, as the task was completed in a satiated state and homeostatic processes were shown to have a stronger influence on neural food processing in NW compared to obese individuals (Stopyra et al., 2021). Worth remarking, the lack of effect in our NW group fits the correlation between the N1pc/N2pc for food cues and BMI found in Kumar et al. (2016). Following the idea of suppression as possible cause of N2pc differences in the OW group, the lack of suppression in the BED group might rather be attributed to a deficit in early inhibition. This idea matches fMRI results that demonstrate unique inhibitory processes in BED compared to obese and normal weight persons. As such, individuals with BED were shown to display a reduced activation in brain regions responsible for self-regulation (Balodis et al., 2013). In particular, another fMRI study demonstrated obese individuals to show amplified activity in a brain region associated with inhibition (i.e., right dorsolateral prefrontal cortex) when inhibiting responses to food compared to nonfood stimuli (Hege et al., 2015). Crucially, the BED sample did not exhibit the same enhanced activation specific to food stimuli in this region. This difference is potentially attributable to additional inhibitory resources obese persons, but not persons with BED, can revert to when faced with food stimuli (especially as the latter are characterized by loss of control over eating). Accordingly, the BED group's but not the NW group's potential lack of early suppression in our study might stem from deficient self-regulation.

Possibly supporting the notion of different mechanisms responsible for the identical N2pc result pattern in our BED and NW groups, differences between the groups do emerge in later lateralization between 300 and 500 ms. While the BED group now mirrors the OW group's pattern of weaker target-elicited lateralization in the presence of nonfood distractors, the NW group shows the opposite pattern. Following the interpretation of our N2pc results as reflecting a mechanism of distractor suppression, it is conceivable that this later lateralization reflects a similar process of suppression. According to this explanation, the later lateralization in the BED group could reflect an attentional suppression of food distractors that occurs *later* than the suppression in the OW group. However, this interpretation of later lateralization is speculative because *a*) the corresponding time window is not the one most commonly associated with potentials reflecting distractor suppression (although the P_D can occur in a time window between 100 and 500 ms, Gaspelin et al., 2023), and *b*) it results from a post-hoc analysis based on visual inspection of the grand average waves, which could have led to a cumulation of type-I-errors. In order to test whether the similar result pattern between the BED and NW group indeed stems from a different motivation, future studies could employ a contemporaneous assessment of arousal via pupil dilation (see Bradley et al., 2008; Montagrin et al., 2021) and appetitiveness. On a similar note, a planned analysis of N1 and P200 amplitudes could make for a more differentiated assessment of valence and arousal.

Interestingly, one of the few studies investigating food-related attention by means of the N2pc found an increased N2pc contralateral to food only when these stimuli were presented subliminally and participants were in a hungry state (Ilse et al., 2020). The authors argue that

a reduction of N2pc under visible conditions might, thus, represent a willful effort to attenuate the strong attentional capture of food compared to nonfood stimuli – a strategy failing under subliminal presentation. Of note, similar suppression effects have also been present for smokers performing a target search involving smoking-related distractors (Donohue et al., 2016). Thus, the results by Ilse et al. (2020) and Donohue et al. (2016) tie in with the notion that top-down attentional suppression of food stimuli might play a role in the present N2pc results. In fact, our visible presentation of food stimuli in a satiated state might have given all participants the opportunity to willfully suppress the attention allocation towards food at least to some degree. Therefore, future studies could deliver meaningful insights by also manipulating levels of hunger and satiety as well as presenting visible and subliminal stimuli, when investigating food-related attention. This could enable to test whether more pronounced differences emerge once suppression has experimentally been aggravated. It is interesting to note though, that the P_D as an indicator of distractor suppression would have contributed as a boosting factor of the target-elicited N2pc in the Go trials. Results were evidently not reflective of such active suppression of all food items, which should have shown up as a general difference between target-elicited N2pc with food than nonfood distractors. If a food-related distractor suppression (to whatever degree) indeed existed, it either preceded or followed the target-elicited N2pc.

Taken together, (non-)food-specific differences in target-elicited N2pc could reflect early attentional suppression of food stimuli in the OW group and a lack of suppression in the BED and NW groups. However, as noted above, alternative explanations could also account for the pattern of results, and our experimental paradigm does not allow for a definitive interpretation of the results in terms of distractor suppression. Future studies could build on the present results by using different experimental paradigms that are better suited to disentangling target enhancement and distractor suppression effects, such as including displays with centrally presented targets and lateralized distractors (see Hickey et al., 2009). Aside from this image content-dependent pattern of differences, the most pronounced effect on N2pc differences in Go trials occurred when *distractor pictures* and *distractor digits* were compared. Target-elicited N2pc amplitudes were generally much weaker, when distractor digits were presented on the other side, relative to both food and nonfood distractor pictures (see [Supplementary Material 6.4](#) for additional information). This effect probably indicates a stronger competition for attention from the distractor digits, indeed for all groups. It seems likely that the higher perceptual similarity between the distractor *digit* and the target *digit* (compared to the distractor *picture* and the target *digit*) promoted the allocation of more attention to the distractor digit.

Consistent with previous studies, pronounced group differences emerged also in other later stage ERPs, which are thought to be more strongly influenced by motivational aspects (Begleiter et al., 1983; Carrillo-de-la-Peña & Cadaveira, 2000). As hypothesized (H3) and in line with prior studies (Schienle et al., 2017; Svaldi et al., 2010), the BED group showed increased P300 amplitudes for food stimuli both in Go and No-Go trials. This applied to both the analysis with predefined time window and electrode cluster, as well as the post-hoc analysis with time window and electrode cluster derived from data inspection. Thus, participants seemed to allocate more resources towards the processing of food stimuli regardless of trial type. As such, food is highly salient for individuals with BED even in the presence of a task-relevant target. This is consistent with predictions made by the incentive sensitization theory (Berridge & Robinson, 2016; Robinson & Berridge, 1993): Repeated binge eating is expected to form a strong association between food consumption and dopaminergic activation. On a neurophysiological level, this association leads to a sensitized dopaminergic system, which has already been experimentally demonstrated for binge eating in several studies (Bello & Hajnal, 2010; Wang et al., 2011). It is conceivable that this sensitization puts individuals with BED at particular risk also in real-life situations, even when they engage in

goal-directed behavior. Indeed, individuals with BED were shown to increasingly attend to food more often than controls in real-world scenes in an eye-tracking study (Popien et al., 2015). A meta-analysis further links the overwhelming attentional pull of distractors despite goal-directed behavior to poorer working memory in individuals with BED (Cury et al., 2020). As an example, in BED, food stimuli were shown to particularly interfere with working-memory-related tasks (Svaldi et al., 2014). This line of thinking may also tie in with our post-hoc analysis of later lateralization, which may reflect later suppression in the BED group compared to an earlier suppression in the OW group. Of note, early suppression of irrelevant stimuli is associated with a higher performance in working memory (Zanto & Gazzaley, 2009). The BED group's difference in later stage lateralization might index an increased effort necessary to suppress food items, after forgoing to do so early on. To better understand the exact link between working memory impairment and altered processing of food stimuli, future ERP studies could assess food-related attention and working memory in the same sample.

For the OW group, differences emerged between the a priori and post-hoc time window and electrode cluster analyses. In the a priori analysis and contrary to our hypothesis (H3), participants in the OW group did not show an increased P300 amplitude for food pictures compared to nonfood pictures in both trial types. More specifically, there was no difference between food and nonfood pictures in Go trials, whereas, surprisingly, in No-Go trials, P300 amplitudes were even stronger for nonfood stimuli compared to food stimuli.

Previous studies looking at the P300 difference between food and nonfood stimuli have also found mixed results for OW samples (also see systematic review of Chami et al., 2019). These inconclusive findings highlight the importance of contextual factors. As such, both level of satiety (Nijs et al., 2010) and mood (Liu et al., 2020) have been shown to influence the food-specific P300. The high level of satiety by the delivered breakfast and the absence of mood induction in the present study are potential reasons for the absence of a food-related enhancement of P300 in the OW group. Moreover, the lack of a food-related P300 enhancement in the OW group, but not in the BED group, might also trace back to our N2pc findings: Only the OW group displayed a pattern potentially indicative of early suppression of food stimuli in the N2pc time window. As stated before, this might be an adaptive strategy as food stimuli pose particularly salient distractors for individuals with overweight (Hendrikse et al., 2015; Kumar et al., 2016). The lack of attentional bias towards food in the P300 time window for the OW group might, thus, indicate that the early suppression was indeed effective.

In contrast, in the post-hoc time window and electrode cluster analysis, the OW group mirrored the BED group's pattern of higher P300 amplitudes for food pictures in both Go and No-Go trials, albeit with a much smaller numerical difference in No-Go trials relative to the BED group (see Section 6.5 in the Supplementary Material). This finding of increased food-specific P300 amplitudes in individuals with overweight is generally consistent with previous findings (Carbine et al., 2018). According to the post-hoc results, the high salience of the food images likely led the OW group to allocate more resources both in the presence and absence of a task-relevant target. This pattern distinguishes the OW group from the NW group and indicates a processing of food stimuli that is more similar to the one displayed by the BED group in the P300's time window. It must be noted, however, that the different results between the a priori and post-hoc P300 analysis for the OW group clearly require replication in order to obtain a more robust interpretation of these results.

A unique pattern of P300 amplitudes was found for the NW group. As hypothesized (H3), participants in the NW group showed an increased amplitude for food in the No-Go trials in both the a priori and post-hoc analyses. However, contrary to our assumption, the opposite pattern was found for the Go trials in the a priori analysis and no difference between food and nonfood pictures in the post-hoc analysis. Thus, participants with NW seemed to allocate more motivated attention towards food only in the absence of a task-relevant target. In conjunction with the N2pc

results, thus, the NW group is distinct from the other two groups: Normal weight individuals seem not to require an early suppression of food distractors in order to display a task-congruent distribution of motivated attention in later processing stages. This is likely attributable to the lower relevance of food pictures for the NW group compared to both other groups (Hendrikse et al., 2015).

For the LPP (H4), a different pattern than hypothesized emerged. Participants in the OW group always displayed a stronger LPP for food compared to nonfood, regardless of trial type. By contrast, the NW showed no LPP difference in dependence of stimulus category in Go trials, but stronger LPP for nonfood relative to control stimuli in No-Go trials. Most notably, however, participants in the BED group displayed a stronger LPP for food in No-Go trials and the opposite pattern in Go trials. This mirrors the pattern that participants with NW displayed in the P300 a priori time window: Replicating previous findings (Svaldi et al., 2010), the BED group allocated more later stage attention towards food stimuli, but only in the absence of a target. Participants with BED were, however, seemingly able to inhibit this tendency in the face of a task-relevant stimulus. The blunted food-related LPP in the Go trials in the BED group could stem from the stronger influence of more elaborative processes on later stages of processing (Weinberg & Hajcak, 2010). As such, cognitive regulation strategies have been shown to influence LPP amplitudes (Foti & Hajcak, 2008; Meule et al., 2013). Particularly, in the context of food stimulus processing, LPP amplitudes could be reduced by a cognitive suppression of food-related craving (Svaldi et al., 2015). Congruously, individuals with BED do display a higher level of food thought suppression compared to weight-matched individuals without BED (Barnes et al., 2011). These higher levels of food-related thought suppression might have contributed to the lower food-related LPP in Go trials. Future studies could contribute to a more comprehensive understanding of cognitive suppression in two ways: They might inquire throughout the experimental task, whether participants engaged in cognitive suppression. Alternatively, active manipulation of cognitive suppression via instruction could be employed.

In terms of craving, the results once again correspond with predictions made by the incentive sensitization theory of binge eating: Repeated binge eating is expected to lead to a sensitized dopaminergic system, which results in a higher craving on an emotional level (Berridge & Robinson, 2016; Joyner et al., 2015). Indeed, participants with BED self-reported higher craving compared to both control groups in our study. This is of particular interest, since the heightened craving was exclusive to the BED group and completely absent in the OW and NW group. Thus, rather than being a marker of weight status, craving is associated with diagnostic membership, which is also in line with a previous study (Ng & Davis, 2013). Likewise, while all groups rated food stimuli to be more arousing and more appetitive than nonfood stimuli, this difference was most apparent in the BED group. This, as well, might reflect effects of incentive sensitization. It is surprising that the same pattern is also present for valence, as incentive sensitization theory postulates *wanting* and *liking* to be distinct constructs (Robinson & Berridge, 1993). Accordingly, *wanting* in this context refers to the reward-based process of incentive salience, which is usually accompanied by craving. Against this, *liking* is exemplified by a hedonic, pleasurable process (Berridge, 2009). Based on these assumptions, we would not have expected the BED group to rate high-caloric food stimuli as particularly positive in valence. While associated with a strong feeling of wanting, we would have expected the experience of binge eating episodes to have a detrimental effect on food liking. Feeling disgusted with oneself, depressed, or very guilty after overeating is a diagnostic criterion of binge eating disorder in the DSM 5 after all (American Psychiatric Association, 2013). Indeed, both *wanting* and *liking* of food (and nonfood) may not be stable across different stages of binge eating disorder, as proposed by the mechanistic staging model of reward processing alterations (Bodell & Racine, 2023). According to this model, recent-onset binge eating is characterized not only by increased *wanting* but also increased *liking* of food compared to healthy controls.

Only with longer duration of the disorder ('established binge eating') does *liking* of food decrease to a similar or even lower level compared to healthy controls. This may indicate that (some) individuals in our BED group may be suffering from new-onset binge eating disorder. Future studies might benefit from assessing the duration of disorder through a clinical diagnostic interview to investigate possible changes in *wanting* and *liking* over time. However, the lack dissociation between *wanting* and *liking* might also be related to the measures used to assess the two constructs. As such, subjective ratings might be unable to properly assess the core processes of wanting and liking (Berridge, 1996). This is also mirrored by previous studies that show a dissociation between subjective stimulus ratings and more indirect measures such as psychophysiological markers (Leehr et al., 2016; Svaldi et al., 2010). In addition, previous studies have shown that the eating-alone-criterion is the most informative one for identifying binge eating disorder (Richson et al., 2020; White & Grilo, 2011). As such, having participants rating the food stimuli in the laboratory with other people nearby might have positively distorted valence ratings in the BED group. Besides, having finished a meal without binge eating shortly before stimulus rating might have skewed results in a similar fashion.

Several limitations need to be addressed: First, our sample size was moderate and an inclusion of more participants would have further optimized the signal-to-noise ratio. It needs to be stated that our a-priori power-analyses revealed a high power for small effect sizes given our sample size. This notwithstanding, future studies could benefit from a larger sample or more trials especially for the N2pc due to the way it is calculated: Only two electrodes are involved in its calculation, whereas potentials as the P300 and LPP use larger clusters. Averaging across several eligible electrodes potentially increases reliability over using single electrodes (Huffmeijer et al., 2014). On the one hand, Huffmeijer et al. (2014) find acceptable intraclass correlations for earlier and more narrowly distributed ERPs from 10 trials per person and condition upwards, and state that 10 to 20 trials per condition and per person may be sufficient for the analysis of early and narrow ERPs. On the other hand, N2pc studies usually rely on larger numbers of trials, and in a meta-analysis on attentional processing of emotional faces, for example, larger N2pc effects were found in studies with more than 200 trials per person, probably due to an improvement in the signal-to-noise ratio (Liu et al., 2021). Future studies using the N2pc to investigate the processing of food stimuli should therefore increase the number of trials.

Another limitation of our sample is the imbalance in group size between the BED group and the two control groups. This was chosen by the study design and, accordingly, we used linear mixed models for our analyses, which are qualified for the analysis of data with unbalanced group sizes (Maas & Hox, 2005). Nevertheless, statistical power necessarily differs for post-hoc within-group and pairwise between-group contrasts as a function of the number of observations. Moreover, based on a fundamental study that found a robust N2pc effect (Grubert & Eimer, 2013), we chose a rather short stimulus presentation duration of 150 ms. Stimulus presentations between 50 and 200 ms provide stronger N2pc compared to longer presentations and are, therefore, favorable when investigating this component (Brisson & Jolicœur, 2007). On the one hand, this somewhat limits comparability to previous studies which adopted much longer presentation durations (1500 ms: Schienle et al., 2017; 600 ms: Svaldi et al., 2010). On the other hand, in a previous study (Gable et al., 2015), the LPP amplitude did not depend on picture duration for the time window analyzed in the present study. As part of the short stimulus duration, each picture was presented a total number of 12 times over the course of the experiment. Despite this manageable number of repetitions, an attenuation of electrophysiological potentials over time cannot completely be ruled out. A decrease in amplitude within blocks of repetitions has been demonstrated for early components, as well as within and across blocks for the LPP, regardless of affective picture content (Codispoti et al., 2007). Doubling the amount of stimuli and thereby reducing the presentation frequency of any given picture to once per side in each condition could be an improvement for

future studies. In addition, our study displayed the same number of Go and No-Go trials. Future studies might consider shifting the frequency towards Go trials in order to increase the difficulty of withholding a response in No-Go trials (Young et al., 2018). On a similar note, all distractor pictures could be easily recognized due to their perceptual dissimilarity to target stimuli. This might have damped possible N2pc effects in two different ways: First, discouraging filtering processes can attenuate the potential in some experimental constellations (Leblanc et al., 2008; Luck & Hillyard, 1994). Second, a closer inspection of picture content was not promoted by the stimulus presentation format. Food and nonfood stimuli could have been identified as distractors simply because they were both presented as pictures, without any actual processing of the picture content. The notion of a possible attenuation of N2pc effects due to perceptual dissimilarity is also supported by the stronger attentional competition of (perceptually more *similar*) distractor digits relative to (perceptually more *dissimilar*) distractor pictures that was evident in all groups. Therefore, subsequent study designs could increase the necessity of attentional filtering by making target stimuli more similar to distractor pictures. Alternatively, they could employ a paradigm in which distractor pictures are embedded within geometric targets and distractors, as done by Donohue et al. (2016). The higher similarity between geometric targets and distractors could promote a closer inspection and the embedding of pictures could allow for their simultaneous processing. Finally, our experimental paradigm was not designed to distinguish between the effects of target enhancement and distractor suppression and future studies of food-related attentional processes would certainly benefit from the use of such paradigms.

In conclusion, our results point in the direction of an enhanced motivated attention towards food in individuals with BED, as indexed by the P300. This is in line with incentive sensitization theory. However, ambiguous results emerge for the N2pc and LPP, possibly reflecting an early stage attentional suppression of food stimuli in the OW group, and a later stage suppression in the BED and NW groups.

Author note

This work was supported by the German Research Foundation (DFG) [SV 83/5-1, TU 78/10-1]. The sponsor did not influence the study design, data collection, analysis and interpretation, nor the writing of the report and the decision to submit the article for publication.

Ethical vote

The data analyzed in this manuscript stems from a two-center bias modification trial. It received a positive ethical vote by the university of Tübingen's medical faculty ethics committee: 232/2015B01.

CRedit authorship contribution statement

Dustin Werle: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Supervision, Software, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Lynn Sablotny:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Software, Project administration, Investigation, Data curation. **Ulrich Ansoorge:** Writing – review & editing, Visualization, Validation, Software, Methodology, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Stefanie C. Biehl:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Brunna Tuschen-Caffier:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Methodology, Funding acquisition, Conceptualization. **Jennifer Svaldi:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Methodology, Funding acquisition, Conceptualization.

Declaration of competing interest

Declarations of interest: none.

Data availability

Data will be made available on request.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107682>.

References

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596.744053>
- Arcelus, J., Mitchell, A. J., Wales, J., & Nielsen, S. (2011). Mortality rates in patients with anorexia nervosa and other eating disorders: A meta-analysis of 36 studies. *Archives of General Psychiatry*, 68(7), 724–731. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2011.74>
- Balodis, I. M., Molina, N. D., Kober, H., Worhunsky, P. D., White, M. A., Rajita, S., Grilo, C. M., & Potenza, M. N. (2013). Divergent neural substrates of inhibitory control in binge eating disorder relative to other manifestations of obesity. *Obesity*, 21(2), 367–377. <https://doi.org/10.1002/oby.20068>
- Barnes, R. D., Masheb, R. M., & Grilo, C. M. (2011). Food thought suppression: A matched comparison of obese individuals with and without binge eating disorder. *Eating Behaviors*, 12(4), 272–276. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2011.07.011>
- Bates, D., Machler, M., Bolker, B. M., & Walker, S. C. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). *Manual for the Beck depression inventory-II*. Psychological Corporation.
- Begleiter, H., Porjesz, B., Chou, C. L., & Aumon, J. I. (1983). P3 and stimulus incentive value. *Psychophysiology*, 20(1), 95–101. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1983.tb00909.x>
- Bello, N. T., & Hajnal, A. (2010). Dopamine and binge eating behaviors. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 97(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.04.016>
- Berridge, K. C. (1996). Food reward: Brain substrates of wanting and liking. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 20(1), 1–25. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(95\)00033-b](https://doi.org/10.1016/0149-7634(95)00033-b)
- Berridge, K. C. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards: Brain substrates and roles in eating disorders. *Psychology & Behavior*, 97(5), 537–550. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.044>
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2015). Pleasure systems in the brain. *Neuron*, 86(3), 646–664. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.02.018>
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (2016). Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction. *American Psychologist*, 71(8), 670–679. <https://doi.org/10.1037/amp0000059>
- Biehl, S. C., Ansoorge, U., Naumann, E., & Svaldi, J. (2019). Altered processing of visual food stimuli in adolescents with loss of control eating. *Nutrients*, 11(2), 1–11. <https://doi.org/10.3390/nu11020210>
- Blechert, J., Goltsche, J. E., Herbert, B. M., & Wilhelm, F. H. (2014). Eat your troubles away: Electroocortical and experiential correlates of food image processing are related to emotional eating style and emotional state. *Biological Psychology*, 96, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.12.007>
- Bodell, L. P., & Racine, S. E. (2023). A mechanistic staging model of reward processing alterations in individuals with binge-type eating disorders. *International Journal of Eating Disorders*, 56(3), 516–522. <https://doi.org/10.1002/eat.23875>
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602–607. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>
- Brisson, B., & Jolicœur, P. (2007). The N2pc component and stimulus duration. *NeuroReport*, 18(11), 1163–1166. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3281e72d1b>
- Burra, N., & Kerzel, D. (2014). The distractor positivity (Pd) signals lowering of attentional priority: Evidence from event-related potentials and individual differences. *Psychophysiology*, 51(7), 685–696. <https://doi.org/10.1111/psyp.12215>
- Carbine, K. A., Rodeback, R., Modersitzki, E., Miner, M., LeCheminant, J. D., & Larson, M. J. (2018). The utility of event-related potentials (ERPs) in understanding food-related cognition: A systematic review and recommendations. *Appetite*, 128, 58–78. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.05.135>
- Carrillo-de-la-Peña, M. T., & Cadaveira, F. (2000). The effect of motivational instructions on P300 amplitude. *Neurophysiologie Clinique*, 30(4), 232–239. [https://doi.org/10.1016/s0987-7053\(00\)00220-3](https://doi.org/10.1016/s0987-7053(00)00220-3)
- Cepeda-Benito, A., Gleaves, D. H., Williams, T. L., & Erath, S. A. (2000). The development and validation of the state and trait food-cravings questionnaires. *Behavior Therapy*, 31(1), 151–173. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(00\)80009-X](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(00)80009-X)
- Chami, R., Cardi, V., Lautarescu, A., Mallorquí-Bagué, N., & McLoughlin, G. (2019). Neural responses to food stimuli among individuals with eating and weight disorders: A systematic review of event-related potentials. *International Review of Psychiatry*, 31(4), 318–331. <https://doi.org/10.1080/09540261.2019.1622515>
- Codispoti, M., Ferrari, V., & Bradley, M. M. (2007). Repetition and event-related potentials: Distinguishing early and late processes in affective picture perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 577–586. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.4.577>
- Cury, M. E. G., Berberian, A., Scarpato, B. S., Kerr-Gaffney, J., Santos, F. H., & Claudino, A. M. (2020). Scrutinizing domains of executive function in binge eating disorder: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00288>. Article 288.
- Cuthbert, B. N., Schupp, H. T., Bradley, M. M., Birbaumer, N., & Lang, P. J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: Covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological Psychology*, 52(2), 95–111. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(99\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(99)00044-7)
- Deluchi, M., Costa, F. S., Friedman, R., Gonçalves, R., & Bizarro, L. (2017). Attentional bias to unhealthy food in individuals with severe obesity and binge eating. *Appetite*, 108, 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.012>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Donohue, S. E., Woldorff, M. G., Hopf, J. M., Harris, J. A., Heinze, H. J., & Schoenfeld, M. A. (2016). An electrophysiological dissociation of craving and stimulus-dependent attentional capture in smokers. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16(6), 1114–1126. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0457-9>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225–234. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)95711-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(96)95711-9)
- Elliott, R., Rubinsztein, J. S., Sahakian, B. J., & Dolan, R. J. (2002). The neural basis of mood-congruent processing biases in depression. *Archives of General Psychiatry*, 59(7), 597–604. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.59.7.597>
- Fairburn, C. G., & Beglin, S. J. (1994). Assessment of eating disorders: Interview or self-report questionnaire? *International Journal of Eating Disorders*, 16(4), 363–370. [https://doi.org/10.1002/1098-108X\(199412\)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1098-108X(199412)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23)
- Fairburn, C., Cooper, Z., & O'Connor, M. (2008). Eating disorder examination. In C. G. Fairburn (Ed.), *Cognitive behavior therapy and eating disorders* (pp. 309–314). Guilford Press. <https://doi.org/10.1037/t03975-000>
- Fairburn, C. G., Doll, H. A., Welch, S. L., Hay, P. J., Davies, B. A., & O'Connor, M. E. (1998). Risk factors for binge eating disorder: A community-based, case-control study. *Archives of General Psychiatry*, 55(5), 425–432. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.55.5.425>
- Fichter, M. M., Quadflieg, N., & Hedlund, S. (2008). Long-term course of binge eating disorder and bulimia nervosa: Relevance for nosology and diagnostic criteria. *International Journal of Eating Disorders*, 41(7), 577–586. <https://doi.org/10.1002/eat.20539>
- First, M. B., Gibbon, M., Spitzer, R., Williams, J., & Benjamin, L. (1997). *Structured clinical interview for DSM-IV axis II personality disorders (SCID-II)*. American Psychiatric Press.
- First, M. B., Spitzer, R. L., Gibbon, M., & Williams, J. B. W. (1996). *Structured clinical interview for DSM-IV axis I disorders, clinician version (SCID-CV)*. American Psychiatric Press.
- Foti, D., & Hajcak, G. (2008). Deconstructing reappraisal: Descriptions preceding arousing pictures modulate the subsequent neural response. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(6), 977–988. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20066>
- Foti, D., Hajcak, G., & Dien, J. (2009). Differentiating neural responses to emotional pictures: Evidence from temporal-spatial PCA. *Psychophysiology*, 46(3), 521–530. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00796.x>
- Franken, I. H. (2003). Drug craving and addiction: Integrating psychological and neuropsychopharmacological approaches. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 27(4), 563–579. [https://doi.org/10.1016/S0278-5846\(03\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S0278-5846(03)00081-2)
- Fydrich, T., Renneberg, B., Schmitz, B., & Wittchen, H. U. (1997). *Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV, Achse II: Persönlichkeitsstörungen: eine deutschsprachige, erweiterte Bearbeitung der amerikanischen Originalversion des SCID-II* [Structured clinical interview for DSM-IV, axis II: Personality disorders; a German-language, extended editing of the SCID's American original version]. Hogrefe.
- Gable, P. A., Adams, D. L., & Proudfit, G. H. (2015). Transient tasks and enduring emotions: The impacts of affective content, task relevance, and picture duration on the sustained late positive potential. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(1), 45–54. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0313-8>
- Gaspelin, N., Lamy, D., Egeth, H. E., Liesefeld, H. R., Kerzel, D., Mandal, A., Müller, M. M., Schall, J. D., Schubo, A., Slatger, H. A., Stilwell, B. T., & van Moorselaar, D. (2023). The distractor positivity component and the inhibition of distracting stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 35(11), 1693–1715. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02051
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(4), 468–484. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(83\)90135-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(83)90135-9)
- Grubert, A., & Eimer, M. (2013). Qualitative differences in the guidance of attention during single-color and multiple-color visual search: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1433–1442. <https://doi.org/10.1037/a0031046>
- Hajcak, G., Weinberg, A., MacNamara, A., & Foti, D. (2012). ERPs and the study of emotion. In S. J. Luck, & E. S. Kappenman (Eds.), *The Oxford Handbook of event-related potential components* (pp. 441–472). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0222>

- Hege, M. A., Stingl, K. T., Kullmann, S., Schag, K., Giel, K. E., Zipfel, S., & Preissl, H. (2015). Attentional impulsivity in binge eating disorder modulates response inhibition performance and frontal brain networks. *International Journal of Obesity*, 39(2), 353–360. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.99>
- Heinze, H. J., Luck, S. J., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(6), 511–527. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90138-A](https://doi.org/10.1016/0013-4694(90)90138-A)
- Hendrikse, J. J., Cachia, R. L., Kothe, E. J., McPhee, S., Skouteris, H., & Hayden, M. J. (2015). Attentional biases for food cues in overweight and individuals with obesity: A systematic review of the literature. *Obesity Reviews*, 16(5), 424–432. <https://doi.org/10.1111/obr.12265>
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760–775. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21039>
- Hilbert, A., Petroff, D., Herpertz, S., Pietrowsky, R., Tuschen-Caffier, B., Vocks, S., & Schmidt, R. (2019). Meta-analysis of the efficacy of psychological and medical treatments for binge-eating disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 87(1), 91–105. <https://doi.org/10.1037/ccp0000358>
- Hilbert, A., Tuschen-Caffier, B., & Ohms, M. (2004). Eating disorders examination: A German version of the structured eating disorder interviews. *Diagnostica*, 50(2), 98–106. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.50.2.98>
- Hiluy, J. C., David, I. A., Daquer, A. F. C., Duchesne, M., Volchan, E., & Appolinario, J. C. (2021). A systematic review of electrophysiological findings in binge-purge eating disorders: A window into brain dynamics. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 619780. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.619780>
- Hofmann, J., Ardel-Gattinger, E., Paulmichl, K., Weghuber, D., & Blechert, J. (2015). Dietary restraint and impulsivity modulate neural responses to food in adolescents with obesity and healthy adolescents. *Obesity*, 23(11), 2183–2189. <https://doi.org/10.1002/oby.21254>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hudson, J. I., Hiripi, E., Pope, H. G., & Kessler, R. C. (2007). The prevalence and correlates of eating disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Biological Psychiatry*, 61(3), 348–351. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.040>
- Huffmeijer, R., Bakermans-Kranenburg, M. J., Alink, L. R., & Van Ijzendoorn, M. H. (2014). Reliability of event-related potentials: The influence of number of trials and electrodes. *Physiology & Behavior*, 130, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.03.008>
- Ilse, A., Donohue, S. E., Schoenfeld, M. A., Hopf, J. M., Heinze, H. J., & Harris, J. A. (2020). Unseen food images capture the attention of hungry viewers: Evidence from event-related potentials. *Appetite*, 155, Article 104828. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104828>. Article.
- Joyner, M. A., Gearhardt, A. N., & White, M. A. (2015). Food craving as a mediator between addictive-like eating and problematic eating outcomes. *Eating Behaviors*, 19, 98–101. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2015.07.005>
- Kumar, S., Higgins, S., Rutters, F., & Humphreys, G. W. (2016). Biased towards food: Electrophysiological evidence for biased attention to food stimuli. *Brain and Cognition*, 110, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.04.007>
- Leblanc, É., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 657–671. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20051>
- Leehr, E. J., Schag, K., Brinkmann, A., Ehliis, A. C., Fallgatter, A. J., Zipfel, S., Giel, K. E., & Dresler, T. (2016). Alleged approach-avoidance conflict for food stimuli in binge eating disorder. *PLoS One*, 11(4), Article e0152271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152271>. Article.
- Lenth, R. (2022). Emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means. *R package version, 1.7(4–1)*.
- Liu, Y., Wang, Y., Gozli, D. G., Xiang, Y. T., & Jackson, T. (2021). Current status of the anger superiority hypothesis: A meta-analytic review of N2pc studies. *Psychophysiology*, 58(1), Article e13700. <https://doi.org/10.1111/psyp.13700>
- Liu, Y., Zhang, L., Jackson, T., Wang, J., Yang, R., & Chen, H. (2020). Effects of negative mood state on event-related potentials of restrained eating subgroups during an inhibitory control task. *Behavioural Brain Research*, 377, Article 112249. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.112249>. Article.
- Luck, S. J., & Gaspelin, N. (2017). How to get statistically significant effects in any ERP experiment (and why you shouldn't). *Psychophysiology*, 54(1), 146–157. <https://doi.org/10.1111/psyp.12639>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000–1014. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.1000>
- Maas, C. J., & Hox, J. J. (2005). Sufficient sample sizes for multilevel modeling. *Methodology*, 1(3), 86–92. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.1.3.86>
- Meule, A., Kübler, A., & Blechert, J. (2013). Time course of electrocortical food-cue responses during cognitive regulation of craving. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 669. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00669>. Article.
- Meule, A., Lutz, A., Vögele, C., & Kübler, A. (2012). Food cravings discriminate differentially between successful and unsuccessful dieters and non-dieters. Validation of the Food Cravings Questionnaires in German. *Appetite*, 58(1), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.09.010>
- Montagrin, A., Martins-Klein, B., Sander, D., & Mather, M. (2021). Effects of hunger on emotional arousal responses and attention/memory biases. *Emotion*, 21(1), 148–158. <https://doi.org/10.1037/emo0000680>
- Ng, L., & Davis, C. (2013). Cravings and food consumption in binge eating disorder. *Eating Behaviors*, 14(4), 472–475. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.08.011>
- Nijs, I. M. T., Franken, I. H. A., & Muris, P. (2007). The modified Trait and State Food Cravings Questionnaires: Development and validation of a general index of food craving. *Appetite*, 49(1), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.11.001>
- Nijs, I. M. T., Franken, I. H. A., & Muris, P. (2009). Enhanced processing of food-related pictures in female external eaters. *Appetite*, 53(3), 376–383. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.07.022>
- Nijs, I. M. T., Muris, P., Euser, A. S., & Franken, I. H. A. (2010). Differences in attention to food and food intake between overweight/obese and normal-weight females under conditions of hunger and satiety. *Appetite*, 54(2), 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.11.004>
- Novosel, A., Lackner, N., Unterrainer, H. F., Dunitz-Scheer, M., Scheer, P. J. Z., Wallner-Liebmann, S. J., & Neuper, C. (2014). Motivational processing of food cues in anorexia nervosa: A pilot study. *Eating and Weight Disorders*, 19(2), 169–175. <https://doi.org/10.1007/s40519-014-0114-7>
- Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008). Affective picture processing: An integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77(3), 247–265. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.11.006>
- Olofsson, J. K., & Polich, J. (2007). Affective visual event-related potentials: Arousal, repetition, and time-on-task. *Biological Psychology*, 75(1), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.12.006>
- Piani, M. C., Maggioni, E., Delvecchio, G., & Brambilla, P. (2022). Sustained attention alterations in major depressive disorder: A review of fMRI studies employing go/No-go and CPT tasks. *Journal of Affective Disorders*, 303, 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.02.003>
- Popien, A., Frayn, M., von Ranson, K. M., & Sears, C. R. (2015). Eye gaze tracking reveals heightened attention to food in adults with binge eating when viewing images of real-world scenes. *Appetite*, 91, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.04.046>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32A(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The EZ Reader model of eye-movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(4), 445–476. <https://doi.org/10.1017/S0140525X03000104>
- Richson, B. N., Forbush, K. T., Schaumberg, K., Crosby, R. D., Peterson, C. B., Crow, S. J., & Mitchell, J. E. (2020). Are the criterion B binge-eating symptoms interchangeable in understanding binge-eating severity? An item response theory analysis. *International Journal of Eating Disorders*, 53(12), 1983–1992. <https://doi.org/10.1002/eat.23383>
- Rieger, E., Wilfley, D. E., Stein, R. I., Marino, V., & Crow, S. J. (2005). A comparison of quality of life in obese individuals with and without binge eating disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 37(3), 234–240. <https://doi.org/10.1002/eat.20101>
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25(1), 31–40. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(87\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(87)90041-8)
- Rizzolatti, G., Riggio, L., & Sheliga, B. M. (1994). *Space and selective attention*. In C. Umiltà, & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance series. Attention and performance 15: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 232–265). The MIT Press.
- Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (1993). The neural basis of drug craving: An incentive-sensitization theory of addiction. *Brain Research Reviews*, 18(3), 247–291. [https://doi.org/10.1016/0165-0173\(93\)90013-P](https://doi.org/10.1016/0165-0173(93)90013-P)
- Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *Journal of Neuroscience*, 32(31), 10725–10736. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1864-12.2012>
- Schag, K., Teufel, M., Junne, F., Preissl, H., Hautzinger, M., Zipfel, S., & Giel, K. E. (2013). Impulsivity in binge eating disorder: Food cues elicit increased reward responses and disinhibition. *PLoS One*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076542>. Article e76542.
- Schienen, A., Scharfmüller, W., & Schwab, D. (2017). Processing of visual food cues during bitter taste perception in female patients with binge-eating symptoms: A cross-modal ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 128(11), 2184–2190. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.08.017>
- Schmitz, F., Naumann, E., Biehl, S., & Svaldi, J. (2015). Gating of attention towards food stimuli in binge eating disorder. *Appetite*, 95, 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.023>
- Schmitz, F., Naumann, E., Trentowska, M., & Svaldi, J. (2014). Attentional bias for food cues in binge eating disorder. *Appetite*, 80, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.023>
- Schultz, W. (1998). Predictive reward signal of dopamine neurons. *Journal of Neurophysiology*, 80(1), 1–27. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.1.1>
- Stopyra, M. A., Friederich, H. C., Lavandier, N., Monning, E., Bendszus, M., Herzog, W., & Simon, J. J. (2021). Homeostasis and food craving in obesity: A functional MRI study. *International Journal of Obesity*, 45(11), 2464–2470. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00920-4>
- Svaldi, J., Schmitz, F., Trentowska, M., Tuschen-Caffier, B., Berking, M., & Naumann, E. (2014). Cognitive interference and a food-related memory bias in binge eating disorder. *Appetite*, 72, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.09.014>
- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Biehl, S. C., Gschwendtner, K., Wolz, I., & Naumann, E. (2015). Effects of two cognitive regulation strategies on the processing of food cues

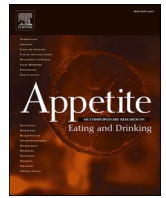
- in high restrained eaters. An event-related potential study. *Appetite*, 92, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.05.026>
- Svaldi, J., Tuschien-Caffier, B., Peyk, P., & Blechert, J. (2010). Information processing of food pictures in binge eating disorder. *Appetite*, 55(3), 685–694. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.10.002>
- Volkow, N. D., Wang, G. J., & Baler, R. D. (2011). Reward, dopamine and the control of food intake: Implications for obesity. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 37–46. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010654108>
- Wang, G. J., Geliebter, A., Volkow, N. D., Telang, F. W., Logan, J., Jayne, M. C., Galanti, K., Selig, P. A., Han, H., Zhu, W., Wong, C. T., & Fowler, J. S. (2011). Enhanced striatal dopamine release during food stimulation in binge eating disorder. *Obesity*, 19(8), 1601–1608. <https://doi.org/10.1038/oby.2011.27>
- Watson, T. D., & Garvey, K. T. (2013). Neurocognitive correlates of processing food-related stimuli in a Go/No-go paradigm. *Appetite*, 71, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.07.007>
- Weinberg, A., & Hajcak, G. (2010). Beyond good and evil: The time-course of neural activity elicited by specific picture content. *Emotion*, 10(6), 767–782. <https://doi.org/10.1037/a0020242>
- Werle, D., Sablotny, L., Tuschien-Caffier, B., & Svaldi, J. (2024). Modifying biased attention towards food stimuli in binge eating disorder: A multi-session training study. *Appetite*, Article 107284. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107284>
- Werle, D., Schroeder, P. A., Wolz, I., & Svaldi, J. (2021). Incentive sensitization in binge behaviors: A mini review on electrophysiological evidence. *Addictive Behaviors Reports*, 13, Article 100344. <https://doi.org/10.1016/j.abrep.2021.100344>
- Werthmann, J., Roefs, A., Nederkoorn, C., Mogg, K., Bradley, B. P., & Jansen, A. (2011). Can (not) take my eyes off it: Attention bias for food in overweight participants. *Health Psychology*, 30(5), 561–569. <https://doi.org/10.1037/a0024291>
- White, M. A., & Grilo, C. M. (2011). Diagnostic efficiency of DSM–IV indicators for binge eating episodes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 79(1), 75–83. <https://doi.org/10.1037/a0022210>
- Wickelgren, I. (1997). Getting the brain's attention. *Science*, 278(5335), 35–37. <https://doi.org/10.1126/science.278.5335.35>
- Wise, R. A. (2006). Role of brain dopamine in food reward and reinforcement. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1471), 1149–1158. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1854>
- Wittchen, H. U., Zaudig, M., & Fydrich, T. (1997). *Strukturiertes klinisches Interview für DSM-IV: SKID; eine deutschsprachige, erweiterte Bearbeitung der amerikanischen Originalversion des SCID [Structured clinical interview for DSM-IV: SCID; a German-language, extended editing of the SCID's American original version]*. Hogrefe.
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 495–501. <https://doi.org/10.4324/9781351156288-12>
- Wolz, I., Fagundo, A. B., Treasure, J., & Fernández-Aranda, F. (2015). The processing of food stimuli in abnormal eating: A systematic review of electrophysiology. *European Eating Disorders Review*, 23(4), 251–261. <https://doi.org/10.1002/erv.2366>
- Wolz, I., Sauvaget, A., Granero, R., Mestre-Bach, G., Baño, M., Martín-Romera, V., Veciana De Las Heras, M., Jiménez-Murcia, S., Jansen, A., Roefs, A., & Fernández-Aranda, F. (2017). Subjective craving and event-related brain response to olfactory and visual chocolate cues in binge-eating and healthy individuals. *Scientific Reports*, 7, Article 41736. <https://doi.org/10.1038/srep41736>
- Wu, J., Willner, C. J., Hill, C., Fearon, P., Mayes, L. C., & Crowley, M. J. (2018). Emotional eating and instructed food-cue processing in adolescents: An ERP study. *Biological Psychology*, 132, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.10.012>
- Young, M. E., Sutherland, S. C., & McCoy, A. W. (2018). Optimal go/no-go ratios to maximize false alarms. *Behavior Research Methods*, 50(3), 1020–1029. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0923-5>
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2009). Neural suppression of irrelevant information underlies optimal working memory performance. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3059–3066. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4621-08.2009>

Anhang B: Publikation 2 (Werle, Sablotny, Tuschen-Caffier & Svaldi, 2024)

Werle, D., Sablotny, L., Tuschen-Caffier, B., & Svaldi, J. (2024). Modifying biased attention towards food stimuli in binge eating disorder: A multi-session training study. *Appetite*, 196, 107284. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107284>

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Appetite

journal homepage: www.elsevier.com/locate/appet

Modifying biased attention towards food stimuli in binge eating disorder: A multi-session training study

Dustin Werle^{a,*}, Lynn Sablottny^b, Brunna Tuschen-Caffier^b, Jennifer Svaldi^a

^a University of Tuebingen, Department of Clinical Psychology and Psychotherapy, Germany

^b University of Freiburg, Department of Clinical Psychology and Psychotherapy, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Binge eating disorder
Attentional bias modification
Food stimuli
Eye-tracking

ABSTRACT

Individuals with binge eating disorder (BED) exhibit a biased attention towards food stimuli. Against this backdrop, the present study with pre-registered design (ID: DRKS00012984) tested whether (a) a training designed to reduce attentional food processing indeed modifies this bias, (b) this reduction is evident in several measures of food-related attention and (c) this is associated with reductions in craving, binge frequency over the past 28 days and calories eaten in a laboratory based bogus taste test. Individuals with BED were randomly allocated to four sessions of either an attentional bias modification training (ABMT; $n = 39$) or a comparable no-modification control training (CT; $n = 27$). In all measures assessed via eye-tracking – dwell time bias, dwell time bias variability and first fixation bias – food-related bias decreased in the ABMT relative to the CT. Against our hypothesis, no differential between-group effects were found for reaction time (RT) bias and its variability as well as for calories consumed in a bogus taste test. By contrast, reductions in binge frequency and subjective craving were found for both groups. Taken together, the tendency to preferentially process food seems a modifiable phenomenon in individuals with BED. However, modifying this selective viewing pattern does not seem a prerequisite for a successful reduction of binge frequency.

1. Introduction

Binge eating disorder (BED) is characterized by recurring episodes of binge eating accompanied by subjective feelings of loss of control, during which affected individuals consume large amounts of food (American Psychiatric Association, 2013). BED is associated with an increased risk of obesity (Hudson, Hiripi, Pope, & Kessler, 2007) and mortality (Suokas et al., 2013) as well as a reduced quality of life (Rieger, Wilfley, Stein, Marino, & Crow, 2005) and impaired work productivity (Striegel, Bedrosian, & Wang, 2012). While most evidence-based guidelines recommend cognitive-behavioral therapy as specialist treatment for BED (Hilbert, Hoek, & Schmidt, 2017), meta-analytic findings (Hilbert et al., 2019; Linardon, 2018) show that even among treatment-completers, half still experience regular binge eating episodes. The high psychosocial burden (Santomauro et al., 2021) associated with the increased healthcare utilization of individuals with BED (Agh et al., 2016) as well as the limited therapeutic success clearly

call for more efficacious interventions. To this end, a better mechanistic understanding of BED is necessary.

Several theoretical models on the genesis and maintenance of BED highlight the importance of attentional biases (ABs). In the domain of BED, AB typically refers to a preferential attention allocation towards high-calorie food stimuli, compared to other stimuli. The cognitive-behavioral theory of eating disorders proposes a direct link between AB and disordered eating behavior (Williamson, White, York-Crowe, & Stewart, 2004). Likewise, the (more neuropsychologically focused) incentive sensitization theory emphasizes an AB towards food (stimuli) as a core mechanism in binge eating (Berridge, 2009; Robinson & Berridge, 1993). According to the latter theory, dopaminergic activation triggered by food stimuli leads to a heightened food-specific attention, which, at the behavioral level, becomes evident in enhanced craving and loss of control over eating.

Empirical evidence largely supports the role of dopaminergic neurotransmission in binge eating (Bello & Hajnal, 2010; Wang et al.,

Abbreviations: binge eating disorder, (BED); attentional bias modification training, (ABMT); control training, (CT); reaction time, (RT); attentional bias, (AB); dot-probe paradigm, (DPP); trial-level bias scores, (TL-BS); bogus taste test, (BTT); linear mixed model, (LMM); generalized linear mixed models, (GLMM); likelihood-ratio test, (LRT).

* Corresponding author. University of Tübingen, Psychological Institute, Schleichstraße 4, 72076, Tübingen, Germany.

E-mail address: REMOVED IN PUBLICATION AS DEMANDED

<https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107284>

Received 1 December 2023; Received in revised form 5 February 2024; Accepted 20 February 2024

Available online 22 February 2024

0195-6663/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

2011). Furthermore, in accordance with the incentive sensitization theory's prediction, individuals with BED indeed display a heightened AB towards food stimuli (Stojek et al., 2018) as assessed by a range of measures. These encompass behavioral data (Schmitz, Naumann, Biehl, & Svaldi, 2015), eye-tracking data (Sperling, Baldofski, Lüthold, & Hilbert, 2017) as well as electrophysiological data (Svaldi, Tuschen-Caffier, Peyk, & Blechert, 2010; Werle et al., 2021, 2023). Beyond that, the magnitude of AB was positively correlated with self-reported eating pathology in a laboratory setting (Schmitz, Naumann, Trentowska, & Svaldi, 2014). Besides, stronger momentary AB predicted an increased likelihood of subsequent binge eating behavior also in a naturalistic setting (Smith, Mason, et al., 2020).

While evidence on the increased food-related AB in BED is ample, research on its modification is rather scarce. In a number of mental disorders other than BED, a frequently and successfully applied task to target attention allocation is the (modified) dot-probe paradigm (DPP; MacLeod, Rutherford, Campbell, Ebsworthy, & Holker, 2002). In this paradigm, a disorder-relevant (e.g., food) and a neutral stimulus are simultaneously presented. Upon presentation only one of the pictures is replaced by a probe (usually a dot). Participants, who are previously instructed to react to the probe, implicitly learn to shift their attention towards the picture-category (disorder-relevant vs. neutral) that predicts the location of the probe. By shifting the probe's contingency away from the disorder-relevant and towards the neutral pictures, an AB modification can be achieved.

Originally conceptualized in the field of anxiety disorders (see Cris- tea, Kok, & Cuijpers, 2015), ABMTs have yielded encouraging results, particularly in the domain of substance use disorder (Heitmann, Bennik, van Hemel-Ruiter, & de Jong, 2018). This is of particular interest, as the incentive sensitization theory was primarily designed as a theory on addictive behavior (Robinson & Berridge, 1993) and previous research gives evidence of a high phenotypic overlap between addictive behaviors and BED (Schulte, Grilo, & Gearhardt, 2016). Accordingly, there is first evidence for the efficacy of ABMTs via DPP also in the domain of food. For example, ABs towards high-calorie food stimuli could be both increased and reduced via ABMTs in healthy adults (Kemps, Tiggemann, Orr, & Grear, 2014), even among those with high levels of craving (Zhang, Cui, Sun, & Zhang, 2018). Likewise, an ABMT was effective in increasing ABs towards both healthy and unhealthy foods (Kakoschke, Kemps, & Tiggemann, 2014). Crucially, in all three studies, bias modification showed direct effects on food consumption in a subsequent taste test in the intended direction. Moreover, among different food-related bias modification approaches including cue-specific inhibitory control, approach bias modification and AB modification, strongest evidence was found for the latter (Navas, Verdejo-Garcia, & Vadillo, 2021). Based on these promising results, ABMTs seem especially interesting for populations at high risk of overeating.

Consistent with results in healthy normal-weight samples, ABMTs were also effective in participants with overweight and obesity (Kemps, Tiggemann, & Hollitt, 2016; Smith, Treffiletti, Bailey, & Moustafa, 2020). These changes in bias were maintained at a one-week follow-up (Kemps et al., 2016) and again, bias reduction also resulted in reduced food consumption (Smith, Treffiletti, et al., 2020). Furthermore, significant reductions in weight and binge frequency following an eight-week food-related ABMT were reported in an open trial with individuals with self-reported binge eating (Boutelle, Monreal, Strong, & Amir, 2016), albeit with inconclusive effects on AB. However, while the long training period constitutes a major strength, the open trial lacks a control group and sample size was extremely small. Filling this gap, a single-session ABMT study randomly assigned individuals with a BED diagnosis to a bias reduction or a bias enhancement group. While no changes emerged in the bias enhancement group, the food-related AB was successfully reduced in the bias reduction group (Schmitz & Svaldi, 2017).

Taken together, first evidence suggests possible efficacy of AB modification in the domain of BED. Nonetheless, the current research

also entails three crucial limitations. First, neither study provides a multi-session training with a control group. Second, in both cases, bias measurements were based on reaction times (RTs), which typically display a poor internal consistency in the DPP (van Ens, Schmidt, Campbell, Roefs, & Werthmann, 2019; e.g., odd-even reliability $r = .26$ in Schmitz & Svaldi, 2017). Third, despite successful modification, change in bias was neither associated with weight loss (Boutelle et al., 2016) nor with subjective craving (Schmitz & Svaldi, 2017). Thus, the overall benefits of AB modification on binge-related symptoms remains unclear.

In contrast to reaction-based bias measurements, eye-tracking has the advantage of continuous capture of attentional processes (Holmqvist et al., 2011) and thus provides a more direct measure of attention allocation. For example, dwell time is an AB index with excellent internal consistency (van Ens et al., 2019). Beyond this, indices that account for the potentially dynamic nature of ABs might be more fruitful. Notably, across an experimental paradigm, attentional processes fluctuate from trial to trial, rather than presenting a constant measure (Amir, Zvielli, & Bernstein, 2016). Accordingly, results on threat-related stimuli highlight the importance of intraindividual variability for the understanding of ABs by demonstrating its unique associations with psychopathology (Zvielli, Bernstein, & Koster, 2014). Indeed, measures accounting for such a variability show a higher reliability compared to the usually applied mean bias scores (Rodebaugh et al., 2016). Beyond its higher reliability and unique associations with psychopathology, the assessment of AB expression in time (thus, the application of a dynamic AB measure) is particularly interesting in the context of BED as several studies highlight the motivational ambivalence regarding high-calorie food stimuli in this patient group (Deluchi, Costa, Friedman, Gonçalves, & Bizarro, 2017; Drobos et al., 2001; Leehr et al., 2016). Moreover, impaired executive control function was previously discussed as potential cause for heightened variability in individuals with obesity (Liu et al., 2019, 2022). Therefore, investigating the temporal dynamic of food-related bias in BED, known to exhibit marked deficits in inhibitory control (Balodis et al., 2013; Hege et al., 2015; Svaldi, Naumann, Trentowska, & Schmitz, 2014), should be of particular interest.

One promising implementation of more dynamic measures that has recently gained in importance resides in the analysis of trial-level bias scores (TL-BS; Zvielli, Bernstein, & Koster, 2015). These TL-BS allow for the analysis of how strongly bias scores change from trial to trial. Crucially, TL-BS variability showed a predictive value on psychopathology over and above mean bias-scores for smokers (Zvielli et al., 2015), as well as on BMI in obese children (Liu et al., 2019). However, an analysis of a potential link between TL-BS variability and eating pathology in individuals with BED is still missing. Finally, an integrated investigation of associations between changes in TL-BS variability, mean bias scores and eating pathology across an ABMT may well result in a more thorough understanding of underlying mechanisms.

Based on what was just mentioned, the first aim of the present study was to test the efficacy of an ABMT designed to reduce attentional food processing in BED. Second, beyond the quantification of AB as a stable construct with its assessment by reaction and dwell time, we aimed to analyze AB expression in time given the food-related *ambivalence* of individuals with BED. Third, we aimed to test whether food-related attention modification is associated with reductions in relevant symptoms of BED. To this end, we randomly assigned individuals with BED to either an ABMT or a control training (CT), both consisting of four sessions. We recorded RTs and eye-tracking throughout and calculated bias scores as well as TL-BS variability. For our eye-tracking data we calculated bias scores for both dwell time and first fixation: In our study context, a dwell time bias would represent participants dwelling longer on food compared to nonfood stimuli; a first fixation bias would represent participants directing their first fixation more often towards food compared to nonfood stimuli across trials. Before and after each session, subjective craving was assessed. After the last training session, participants completed a bogus taste test (BTT) as a valid measure of laboratory

food intake. Furthermore, prior to, at the end and in a three-months follow-up binge eating frequency was assessed by interview. We hypothesized a stronger AB reduction in the ABMT compared to the CT on the measures of RT bias (Hypothesis 1, *H1a*), first fixation bias (*H1b*) and dwell time bias (*H1c*). Analogously, we expected trial-by-trial variability to decrease, especially in the ABMT group for both RT bias (*H2a*) and dwell time bias (*H2b*). In terms of craving, we also assumed a stronger decrease in craving in the ABMT relative to the CT across sessions (*H3*). At this, we exploratorily tested for differential training effects on subjective craving within sessions. Additionally, we expected a stronger decrease in number of binge eating episodes (*H4a*) and fewer calories eaten in a BTT (*H4b*) in the ABMT compared to the CT. Finally, we calculated correlations between changes in bias scores and change in binge eating episodes.

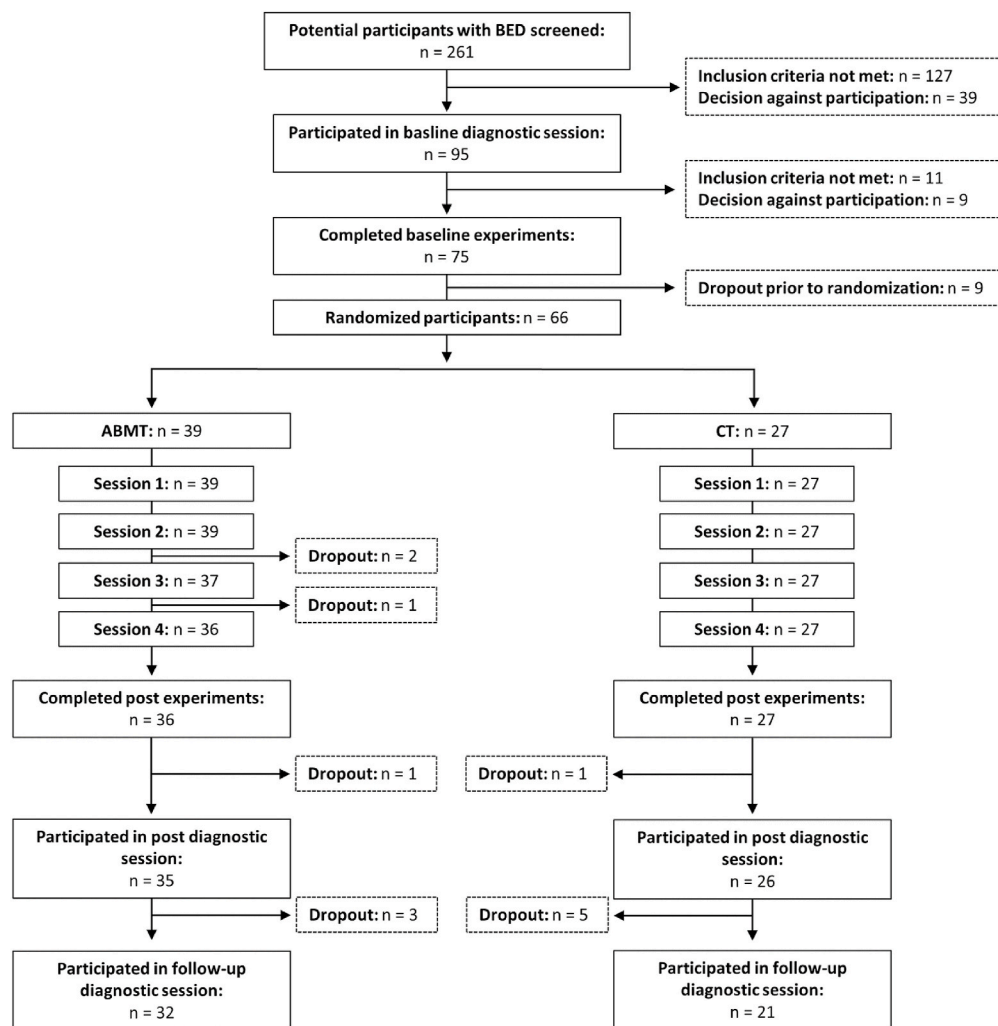
2. Method

The present data stems from a two-center bias modification trial (ethical vote by university’s medical faculty ethics committee: 232/2015B01). The study design has been pre-registered at the German Clinical Trials Register (ID: DRKS00012984; <https://drks.de/search/en>

[/trial/DRKS00012984](https://drks.de/search/en/trial/DRKS00012984)). Pre-post-comparisons and baseline-comparisons with a normal-weight and overweight control group will be presented elsewhere. Sample size was determined by an a priori simulated power analysis for pre-post-comparisons of attentional bias in a DPP consisting of 80 critical trials per person and point of measurement. We did not explicitly power for the training effects across the four training sessions, however, given the 840 trials per person and measurement point, adequate power can be assumed, even for very small differential effects.

2.1. Participants

We recruited participants between the age of 18 and 69 at the two study centers in Tübingen and Freiburg via advertisements in local newspapers, flyers in doctor’s offices and university e-mail distribution lists. Inclusion criterion was the presence of BED according to the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5; [American Psychiatric Association, 2013](https://www.psychiatry.org/american-psychiatric-association)). Exclusion criteria were a BMI above 45 kg/m², the presence of substance related and addictive disorders, bipolar disorder, current psychosis or schizophrenia, current suicidal ideation, pregnancy, lactation, severe physical illness and eye diseases



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 1. Flow of participants with (potential) binge eating disorder diagnosis throughout the study. Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

(due to the eye-tracking methodology), as well as an ongoing psychotherapy or weight reduction program.

BED diagnosis was established by the Eating Disorder Examination (EDE; Fairburn, Cooper, & O'Connor, 2008; German version: Hilbert, Tuschen-Caffier, & Ohms, 2004). The remaining diagnoses were determined by the administration of the Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I (SCID; First, Spitzer, Gibbon, & Williams, 1996; German version: Wittchen, Zaudig, & Fydrich, 1997) and Axis II (First, Gibbon, Spitzer, Williams, & Benjamin, 1997; German version: Fydrich, Renneberg, Schmitz, & Wittchen, 1997).

The participant Flow throughout the study is depicted in Fig. 1. All descriptive sample characteristics for both conditions are displayed in Table 1.

2.2. Materials

2.2.1. Training conditions, stimuli and apparatus

Both training conditions consisted of four approximately weekly sessions of a modified pictorial DPP (see MacLeod et al., 2002). Session frequency and interval resulted from 1) an empirically derived necessity of a multi-session training (see the quick disappearance of bias modification effects in the single session design in Schmitz and Svaldi (2017)) and 2) the aim of keeping drop-out rates low (see the substantial drop-out rates in the 8-week ABMT trial in Boutelle et al. (2016)). Participants were seated approximately 60 cm away from the screen where the experimental paradigm was presented on. Before each training session, eye-tracking was initialized via five-point calibration on a 250 Hz iView X RED device.

Each trial (see Fig. 2) started with a centrally located fixation cross that was then replaced by one of 30 picture pairs. Each picture pair was comprised of one high-calorie food picture and one nonfood picture, with one picture presented at the top and the other at the bottom of the screen. High-calorie food stimuli consisted of mostly sweets (80 % of stimuli) such as chocolate bars and ice cream, as well as savory foods (20 % of stimuli) such as fries, peanuts, and pizza. Nonfood stimuli consisted of inanimate objects such as a wooden slat, a folding ruler as well as a car tire.

Pictures were acquired from Shutterstock (Shutterstock, Inc., New York, NY, USA). In each pair, both pictures were matched by color, complexity, luminance and size. After a stimulus duration of 600 ms, both pictures disappeared, and only one picture was replaced by a circular shape, serving as probe. Participants were instructed to indicate the position of the probe (top or bottom) by pressing the spatially congruent response button on an RB-840 response pad (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA) with their index fingers.

After four practice trials, each session was composed of three different phases: pre-baseline, training (ABMT or CT, respectively) and post-baseline. In both ABMT and CT pre- and post-baseline phases

Table 1
Descriptive study characteristics by group.

Group	ABMT (n = 39)	CT (n = 27)
Age	39.08 (15.20) ¹	37.30 (14.72) ¹
Sex assigned at birth (f/m)	35/4 ¹	20/7 ¹
BMI	28.38 (5.41) ¹	30.98 (6.24) ¹
BDI-II	13.53 (10.66) ¹	16.44 (10.65) ¹
EDE-Q	3.42 (1.05) ¹	4.28 (0.98) ²
Number of OBE over past 3 months	43.00 (35.75) ¹	38.12 (22.02) ¹
Percentage comorbid Axis I diagnosis	38.46 ¹	44.44 ¹
Percentage comorbid Axis II diagnosis	10.26 ¹	18.52 ¹

Note. f = female; m = male; BMI = body-mass-index; BDI-II = Beck Depression Inventory II; EDE-Q = Eating Disorder Examination – Questionnaire; OBE = objective binge episodes. Continuous variables and categorical variables were compared via Welch Two Sample *t*-tests and Pearson's Chi-squared tests respectively, different numbers in the superscript indicate $p < .05$ in the corresponding test, identical numbers indicate $p \geq .05$.

contained 120 trials, in which the probe followed food and nonfood pictures with equal probability. While baseline phases were comparable across groups, the training phase comprised 600 trials and differed between the ABMT and CT: For the CT, the probe followed food and nonfood pictures with equal probability (and thus did not differ from the pre- and post-baseline phases). In the training phase of the ABMT, by contrast, the probe followed food pictures in only 10 % of cases, and nonfood pictures in 90 % of cases. By shifting the frequency of probes away from food pictures, a bias modification was intended. The pairs of pictures were presented in a pseudo-randomized order: no pair was repeated over two sequential trials and the probe did not appear more than four times consecutively in the same location (top or bottom). We decided on the specific number of trials in order to attain a similar experimental duration to Schmitz and Svaldi (2017), as this had proved to be feasible in a sample of individuals with BED.

The experimental procedure in each session lasted approximately thirty to 45 min.

2.2.2. Bogus taste test

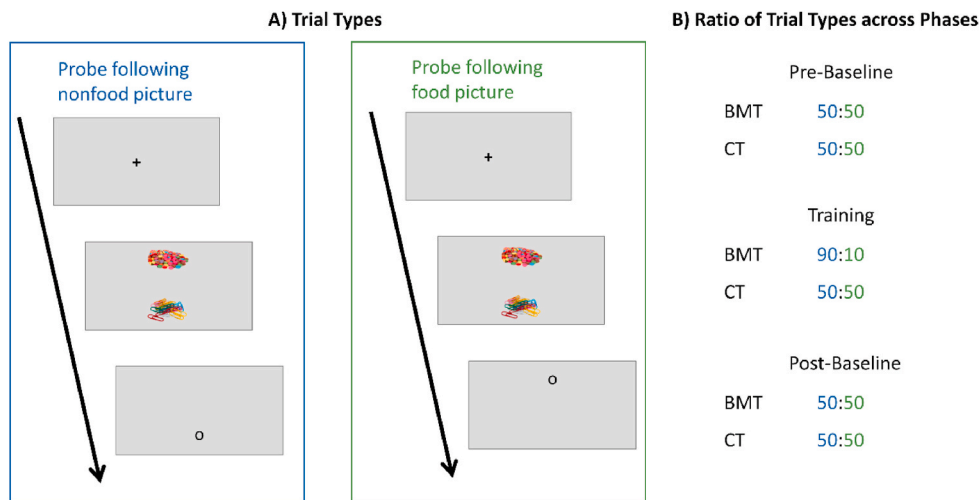
We used the BTT as a valid behavioral measure of calorie consumption in the laboratory following an established procedure (e.g., Svaldi, Tuschen-Caffier, Trentowska, Caffier, & Naumann, 2014; Vöhringer, Hütter, Schroeder, & Svaldi, 2023). Six different high calorie snacks were placed in bowls with a volume of 3.5 l to an equal volume of approximately 2 l (~57 %) in front of the participants (spicy coated peanuts [540 calories per 100 g], chocolate coated peanuts [500 calories per 100 g], salted mini pretzels [401 calories per 100 g], chocolate covered butter biscuits [479 calories per 100 g], spicy potato sticks [508 calories per 100 g] and mini chocolate chip cookies [495 calories per 100 g]). The bowls were arranged in a circle and alternately contained sweet and salty snacks. Within this alternating pattern, the order of snacks was randomized for each participant. After a detailed instruction, participants were left alone for 20 min with the task to rate every snack on nine visual analogue scales. It was emphasized that the accurate completion was important and that they could eat ad libitum to validly rate the snacks and that they could also eat as much as they wanted having completed the ratings. Each bowl was covertly weighed before and after the BTT, in order to calculate the consumed kilocalories for each participant. Participants were debriefed over their deception after their participation.

2.3. Questionnaires and ratings

At the beginning and end of each training session, participants indicated their current level of food-craving via the modified State Food-Craving Questionnaire (FCQ-S; Cepeda-Benito, Gleaves, Williams, & Erath, 2000; modified version: Nijs, Franken, & Muris, 2007; German version: Meule, Lutz, Vögele, & Kübler, 2012). The questionnaire consists of 15 questions using a five-point Likert scale (ranging from 1 to 5). Internal consistency was excellent at each of the eight timepoints, with $\alpha \geq .95$.

Self-reported eating pathology was assessed by the Eating Disorder Examination-Questionnaire (EDE-Q; Fairburn & Beglin, 1994; German version: Hilbert, Tuschen-Caffier, Karwautz, Niederhofer, & Munsch, 2007). The EDE-Q consists of 28 items recording the eating pathology over the past four weeks. A total score can be calculated using 22 of these items (ranging from 0 to 6) spanning the subscales restraint, eating concern, weight concern and shape concern. Internal consistency in our sample was excellent with $\alpha = .90$.

Self-reported depression was assessed via a German version of the Beck depression inventory-II (BDI-II; Beck, Steer, & Brown, 1996; German version: Hautzinger, Keller, & Kühner, 2006). The BDI-II uses 21 items to record depressive symptoms over the past two weeks. Internal consistency in our sample was excellent with $\alpha = .93$.



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training. The pictures presented here are for illustrative purposes only and were not used in the study.

Fig. 2. Schematic representation of A) both trial types and B) the ratio of both trial types in both training conditions.

Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training. The pictures presented here are for illustrative purposes only and were not used in the study.

2.4. Procedure

Prior to data acquisition, we screened potential participants by phone interview regarding inclusion and exclusion criteria. All suitable participants were then invited to a clinical in-person assessment via SCID and EDE (pre-diagnostics; Fydrich et al., 1997; Hilbert et al., 2004; Wittchen et al., 1997), during which participants' weight and height was measured and informed written consent was obtained. Self-reported depression and eating pathology were assessed in an online survey following the diagnostic interview.

On separate days prior to the first training session, participants additionally completed two different experimental paradigms. These paradigms were also conducted with weight-matched and normal weight participants without lifetime eating disorder. Data from these experiments will be presented elsewhere. Subsequently, participants were randomly assigned to the ABMT and CT group. Both AMT and CT were delivered over the subsequent two to four weeks. The last training session was scheduled between 8 a.m. and 10 a.m. Prior to this last session, participants consumed a standardized breakfast of two bread buns with topping, a glass of tap water, and a cup of coffee or tea. Immediately after the last training session, participants completed the BTT.

Following the ABMT/CT, participants repeated the aforementioned two experimental paradigms once again on separate days (see above; data will be presented elsewhere). Finally, participants completed clinical in-person assessments via EDE on a separate day after the last experimental procedure (post-diagnostics), and again at three-months follow-up (follow-up-diagnostics).

2.5. Data availability

At pre-diagnostics, two of the subsequently randomized participants (3.03 %) were not able to specify an exact number of objective binge episodes, each for one of the previous three months. In both cases, however, a BED diagnosis could still be ensured. Complete questionnaire data on EDE-Q and BDI-II were available for 59 participants (89.4 %).

At post-diagnostics and at follow-up diagnostics, again, one

participant (post: 1.64 %; follow-up: 1.89 %) could not report the exact number of objective binge episodes for one of the previous three months.

Due to recording errors, some eye-tracking data (Session one: $n = 3$ [4.55 %]; Session two: $n = 1$ [1.52 %]; Session three: $n = 1$ [1.56 %]; Session four: $n = 2$ [3.17 %]) and craving data (Session one: $n = 3$ [4.55 %]; Session two: $n = 3$ [4.55 %]; Session three: $n = 0$; Session four: $n = 2$ [3.17 %]) were not available for analysis. For one participant, RTs were not recorded in Session one and Session two (1.52 %).

On the basis of dietary preferences, allergies, as well as measurement errors, data from the BTT were available for 54 participants (85.7 %).

All available datasets were used for the following analyses. Anonymized data are available via request to the authors.

2.6. Data preprocessing

Eye-tracking data were preprocessed in BeGaze (SensoMotoric Instruments). Fixations were defined with a minimum duration of 100 ms (Baur, Krohmer, Naumann, & Svaldi, 2022). Around each stimulus, areas of interest (AOIs) were mapped and assigned to the picture category food or nonfood. We extracted first fixations, as well as the total dwell time per AOI in each trial. All further processing and analyses were done in R (R Core Team, 2023), using the "lme4" package (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015) for mixed model analyses as well as "ggplot2" (Wickham, 2016) and "corrplot" (Wie & Simko, 2021) packages for data visualization.

For our first fixation analysis, we excluded trials in which neither the food nor the nonfood picture was fixated. In the remaining trials we binomially classified whether the food (coded as 1) or the nonfood picture (coded as 0) was fixated first. This classification was directly used as input in our logistic regression models.

For dwell time, we calculated bias scores for each participant in each trial via:

$$\text{DwellTime}_{\text{BiasScore}} = \text{DwellTime}_{\text{Food}} - \text{DwellTime}_{\text{Nonfood}}$$

Thereby, higher bias scores express a stronger AB towards food pictures.

For dwell time TL-BS variability, we calculated the absolute difference between dwell time bias in each given trial and dwell time bias in

the subsequent trial.

RT data were directly output by the experimental paradigm. In order to calculate bias scores, we averaged RTs on probes following food pictures and nonfood pictures separately for each participant in each training session. We then determined individual bias scores via:

$$\text{ReactionTime}_{\text{BiasScore}} = \text{ReactionTime}_{\text{Nonfood}} - \text{ReactionTime}_{\text{Food}}$$

Thereby, again, higher bias scores express a stronger AB towards food pictures.

To determine RT TL-BS, we followed the original conceptualization by Zvielli et al. (2015). We matched each trial, in which the probe followed a food stimulus with the nearest trial, in which the probe followed a nonfood stimulus, and vice versa. The maximum distance between trials matched in this way was set to five. Then, for each pair, the TL-BS was calculated analogously to the averaged RT bias score ($\text{ReactionTime}_{\text{Nonfood}} - \text{ReactionTime}_{\text{Food}}$). Based on this, RT TL-BS variability for each participant was calculated as the mean absolute difference in RT TL-BS between sequential trials.

Trials with RTs below 200 ms and above 2000 ms (0.75 %), as well as trials with incorrect responses (2.70 %) were excluded from data analysis.

2.7. Design and statistical analyses

We used linear mixed models (LMM), and in case of binomially distributed dependent variables generalized linear mixed models (GLMM) with the logit function serving as link function to test all but one of our hypotheses. These models have the advantage of being robust against unbalanced group sizes (Maas & Hox, 2005). Whenever adequate to the design, we included random intercepts for *participants* as well as *picture pairs* a priori and tested whether the addition of random slopes for each participant significantly improved model fit (see supplementary materials for a list of all variables in each model).

Prior to testing our hypotheses, we analyzed potential group differences in the frequency of errors made in the DPP task (wrong position of probe indicated). We did so by testing for a potential main effect of *training condition* (CT/ABMT) on error probability by means of likelihood-ratio test (LRT) in GLMM.

For each hypothesis, we tested via LRT whether the twofold interaction between *training condition* (CT/ABMT) and *session* (1/2/3/4) significantly predicted the dependent variable (e.g., RT bias score for *H1a*). To test for craving effects *within* sessions, we tested for a twofold interaction between *training condition* (CT/ABMT) and *time* (pre/post experiment) instead. For number of binge episodes, we tested whether the twofold interaction between *training condition* (CT/ABMT) and *time of interview* (pre/post/follow-up; in the model coded as numeric factor 0/1/2) significantly predicted number of binge eating episodes. In all these analyses testing for an interaction effect, we also tested for marginal main effects via LRT in case of nonsignificant interactions.

For BTT data, we tested for an effect of *training condition* (CT/ABMT) on calories eaten with a Welch Two Sample *t*-test.

All reported hypotheses and analytic plans were specified before data collection.

Significance level for all tests was set to $\alpha = .05$.

Pairwise correlations as descriptive information were calculated between the following variables: Change in RT and dwell time bias score from pre-baseline session one to post-baseline session four; change in RT and dwell time TL-BS variability from pre-baseline session one to post-baseline session four; change in binge eating episodes from pre-diagnostics to post-diagnostics.

3. Results

3.1. Behavioral data

3.1.1. Error probability

There was no effect of *training condition* on error probability, $\chi^2(1) =$

0.42, $p = .518$.

3.1.2. Reaction time

There was no significant two-way interaction of *training condition* \times *session* on the RT bias, $\chi^2(1) = 0.66$, $p = .417$. However, there was a significant main effect of *training condition*, $\chi^2(1) = 7.57$, $p = .006$. Across all sessions, the ABMT group displayed a stronger bias towards neutral stimuli, compared to the CT group, which can be seen in Fig. 3a. There was no significant main effect of *session*, $\chi^2(1) = 0.93$, $p = .335$. Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 8.86$, $p = .012$. There was a moderate negative correlation between random intercepts and random slopes ($r = -.36$).

3.1.3. Reaction time TL-BS variability

There was no significant two-way interaction of *training condition* \times *session* on the RT TL-BS variability, $\chi^2(1) = 0.09$, $p = .766$. However, there was a significant main effect of *session*, $\chi^2(1) = 626.86$, $p < .001$. RT TL-BS variability decreased over the course of training in both conditions, see also Fig. 4a. There was a significant main effect of *training condition*, when testing against the null model, $\chi^2(1) = 3.95$, $p = .047$. However, the overall best fitting model according to LRTs included only the main effect of *session*, as the addition of a main effect of *training condition* did not further improve model fit, $\chi^2(1) = 3.68$, $p = .055$.

Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 707.03$, $p < .001$. There was a large negative correlation between random intercepts and random slopes ($r = -.70$).

3.2. Eye-tracking data

At pre-baseline of session one, 58 % of subjects displayed a numerical dwell time bias towards food stimuli. For reaction time bias, this proportion was 39 %, for first fixation bias 51 %.

3.2.1. First fixation

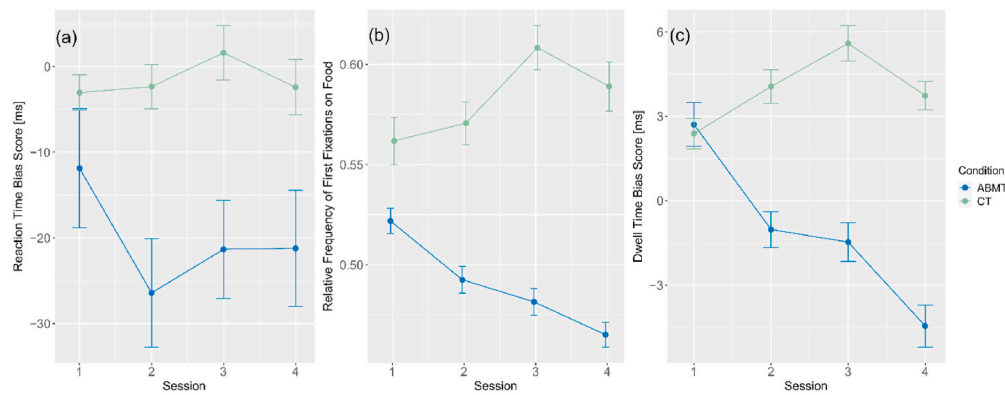
There was a significant two-way interaction of *training condition* \times *session* on the probability of a first fixation on food, $\chi^2(1) = 16.98$, $p < .001$. Probability of a first fixation on food across sessions decreased only in the ABMT, not in the CT group, which can be seen in Fig. 3b. Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 106.22$, $p < .001$. There was no considerable correlation between random intercepts and random slopes ($r = .07$).

3.2.2. Dwell time

There was a significant two-way interaction of *training condition* \times *session* on the dwell time bias, $\chi^2(1) = 35.11$, $p < .001$. Bias decreased in the ABMT group only, which can be seen in Fig. 3c. Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 751.86$, $p < .001$. There was a large negative correlation between random intercepts and random slopes ($r = -.54$).

3.2.3. Dwell time TL-BS variability

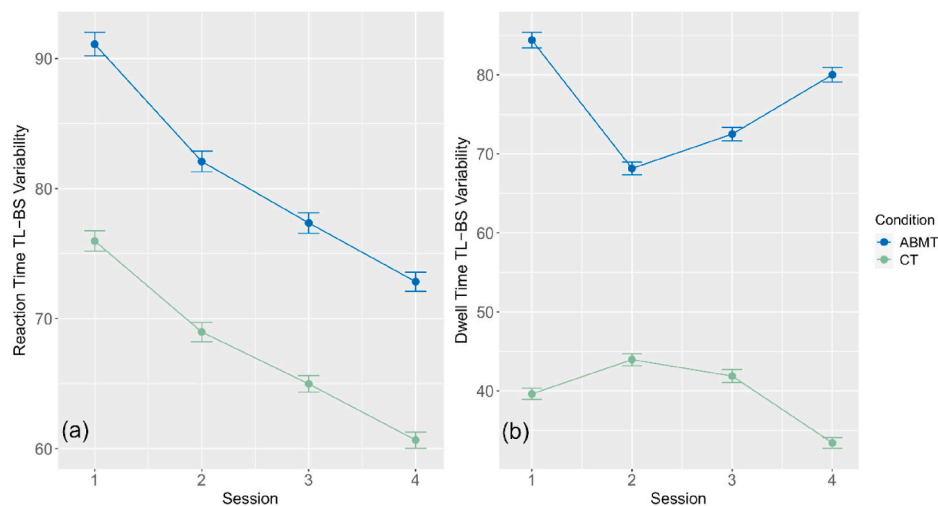
There was a significant two-way interaction of *training condition* \times *session* on the dwell time TL-BS variability, $\chi^2(1) = 58.25$, $p < .001$. Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 10621$, $p < .001$. There was a large negative correlation between random intercepts and random slopes ($r = -.78$). Referring to the beta parameter estimates of linear change in our final model, parameter estimates indicate that TL-BS variability decreased more in the ABMT ($\beta = -5.64$ per session) compared to the CT ($\beta = -4.73$ per session) group. Upon visual inspection of group specific means of TL-BS variability across sessions, there seems to be a marked nonlinear pattern in the ABMT group, which we further elaborate on in the discussion, see also Fig. 4b.



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 3. Mean reaction time bias score (a), relative frequency of first fixation on food stimuli (b), and mean dwell time bias score (c), per session for both training groups with standard error bars.

Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 4. Mean reaction time trial-level bias score (TL-BS) variability (a), and mean dwell time trial-level bias score (TL-BS) variability (b), per session for both training groups with standard error bars.

Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

3.3. Questionnaire data

3.3.1. Food-craving

When testing for effects across sessions, there was no two-way interaction of *training condition* \times *session* on craving scores, $\chi^2(1) = 0.49$, $p = .484$. However, there was a significant main effect of *session*, $\chi^2(1) = 83.97$, $p < .001$. Craving scores decreased across sessions. Adding random slopes for each participant significantly improved model fit, $\chi^2(2) = 33.03$, $p < .001$. There was a large negative correlation between random intercepts and random slopes ($r = -.76$).

When testing for effects within each session, there was no two-way interaction of *training condition* \times *time* on craving scores, $\chi^2(1) < 0.01$, $p = .964$. Further, there was no significant main effect of *time*, $\chi^2(1) = 3.81$, $p = .051$.

Lastly, there was no main effect of *training condition* on craving scores, $\chi^2(1) = 0.49$, $p = .484$.

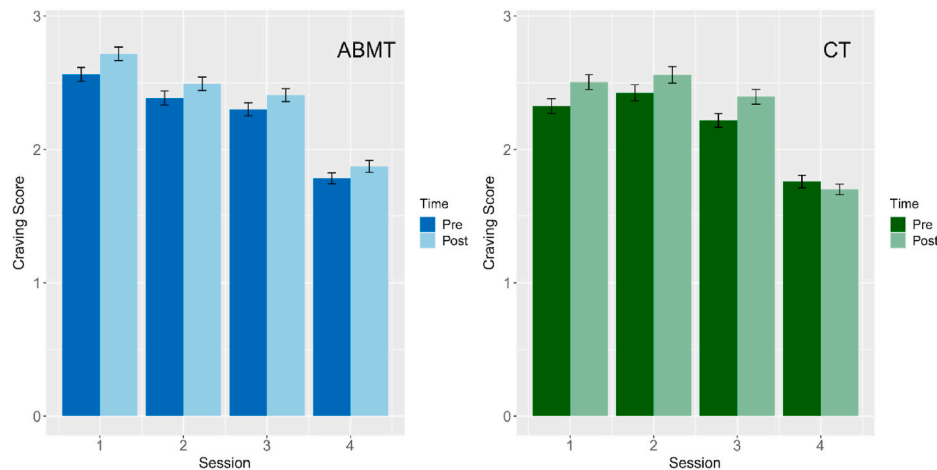
Mean craving scores are illustrated in Fig. 5.

A visual inspection of these mean craving scores across sessions revealed a marked drop from session three to session four in both groups. This decline is possibly attributable to participants consuming a breakfast exclusively prior to this session. We therefore wanted to test post-hoc, whether models still indicated a decline in craving across session, when session four was excluded from the analysis. Indeed, the effect of time remained statistically significant, $\chi^2(1) = 5.55$, $p = .018$, however the estimated magnitude of change was reduced substantially (from $\beta = -0.23$ per session to $\beta = -0.08$ per session).

3.4. Eating behavior

3.4.1. Binge eating episodes

There was no significant two-way interaction of *training condition* \times *time* on number of binge eating episodes, $\chi^2(1) = 0.18$, $p = .671$. Moreover, there was no significant main effect of *training condition*, $\chi^2(1) = 0.21$, $p = .644$. However, there was a significant main effect of



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 5. Mean craving scores pre and post each training session for both training groups with standard error bars. Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

time, $\chi^2(1) = 40.72, p < .001$, in that number of binge episodes generally decreased from pre training, to post training and follow-up, ABMT: $M(SD)_{pre} = 43.00(35.75)$, $M(SD)_{post} = 23.00(24.79)$, $M(SD)_{follow-up} = 21.38(28.99)$; CT: $M(SD)_{pre} = 38.12(22.02)$, $M(SD)_{post} = 27.72(26.29)$, $M(SD)_{follow-up} = 11.00(12.06)$. Adding random slopes for each participant did not significantly improve model fit, $\chi^2(2) = 2.46, p = .292$.

3.4.2. Bogus taste test

There was no difference in calories eaten during the BTT between both training conditions, $t(34.99) = 0.91, p = .370$; $M(SD)_{ABMT} = 476.23(927.42)$ kcal, $M(SD)_{CT} = 309.96(308.87)$ kcal. Post-hoc visual inspection of the distribution of calories eaten revealed a positively skewed distribution in both groups. Therefore we, again post-hoc, decided on adding a Wilcoxon rank-sum test as a nonparametric alternative. In conformity with the parametric test, there was no difference in calories eaten between both training conditions, $W = 341, p = .718$.

3.5. Correlation analyses

All pairwise correlations are shown in Fig. 6.

In the ABMT group, there was a moderate positive correlation between change in dwell time TL-BS variability and change in RT bias ($r = .44$). All other correlations were small in size ($|r| < .30$).

In the CT group, there was a moderate negative correlation between change in dwell time bias and change in RT TL-BS variability ($r = -.46$). All other correlations were small in size ($|r| < .30$). Of note, variance in all measures but change in binge eating episodes was much smaller in the CT group.

3.6. Post-hoc analyses including covariates BMI and EDE-Q

We¹ conducted post-hoc analyses of all bias and craving analyses including baseline BMI and EDE-Q total scores as covariates. For all analyses, results of model comparisons correspond to those without the two covariates.

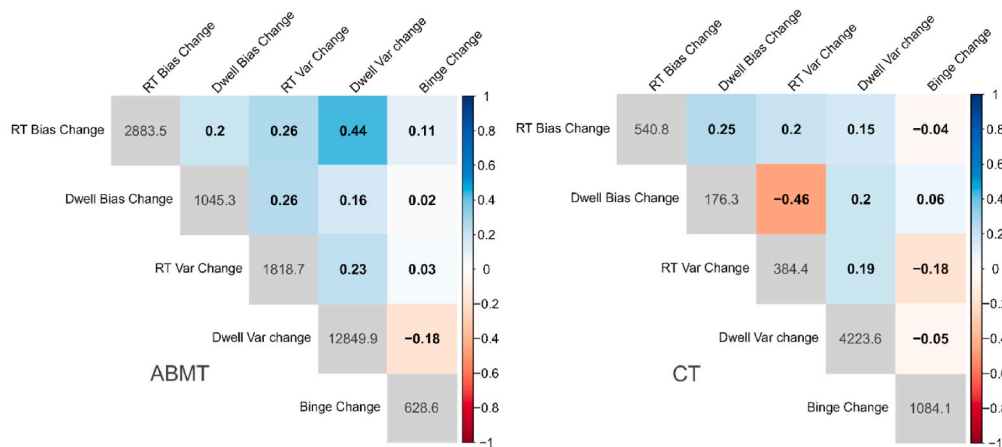
4. Discussion

We investigated the efficacy of an ABMT and the course of attentional food bias throughout the ABMT in a sample of individuals with BED. To do so, we analyzed data obtained in a four session DPP from an active training group (ABMT) and a control group (CT). To measure changes in food-related attention allocation we assessed RT bias, first fixation bias, dwell time bias, as well as a more dynamic measure in the TL-BS variability throughout the training sessions. To test effects of a potential bias modification on eating pathology, we assessed subjective craving prior to and after each training session, calories consumed in a BTT post-training and binge eating frequency prior to, immediately after the training and at 3-months follow-up.

In opposition to our first hypothesis, there was neither a differential training effect, nor a general training effect on AB measured via RT (H1a). Accordingly, there was no modification of RT bias in either group. Across all sessions, the ABMT group showed a stronger bias toward neutral stimuli. Contrary to this, however, there was a differential training effect on the frequency of first fixation on food in the anticipated direction: the relative frequency of first fixation on food decreased in the ABMT relative to the CT group (H1b). In conjunction, results indicate that the ABMT was able to modify the initial attention allocation (as marked by the first fixation), though not the attention allocation after 600 ms, when probes replaced the stimuli (as marked by the RT). One possible explanation for the opposing results in bias modification lies in the difference in mean bias that was already present at session one: Looking at the mean bias scores per session, which are depicted in Fig. 3a and b, there is only a numerical bias present for first fixation (as indicated by scores > 0.50) but not for the RT (indicated by scores ≤ 0) across groups. Our model comparisons might therefore indicate no change in bias, since the first time point analyzed already shows no numerical RT bias.

The lack of RT bias is somewhat at odds with previous findings on AB in BED (Stojek et al., 2018). As such, in a similar visual probe task one study found a RT bias in individuals with binge eating behaviors, especially for short stimulus presentations of 100 and 500 ms (Deluchi et al., 2017). On the one hand, our first fixation data mirror the study's results of an initial orientation food bias. On the other hand, our RT data do not tie in with the study's result of an AB sustained at around 500 ms. One noteworthy difference consists in the considerably larger BMI (48.05 kg/m^2) in the previous study's sample, which might coincide with a more severe eating pathology (Burrows, Skinner, McKenna, &

¹ We thank the anonymous reviewers for this valuable advice.



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

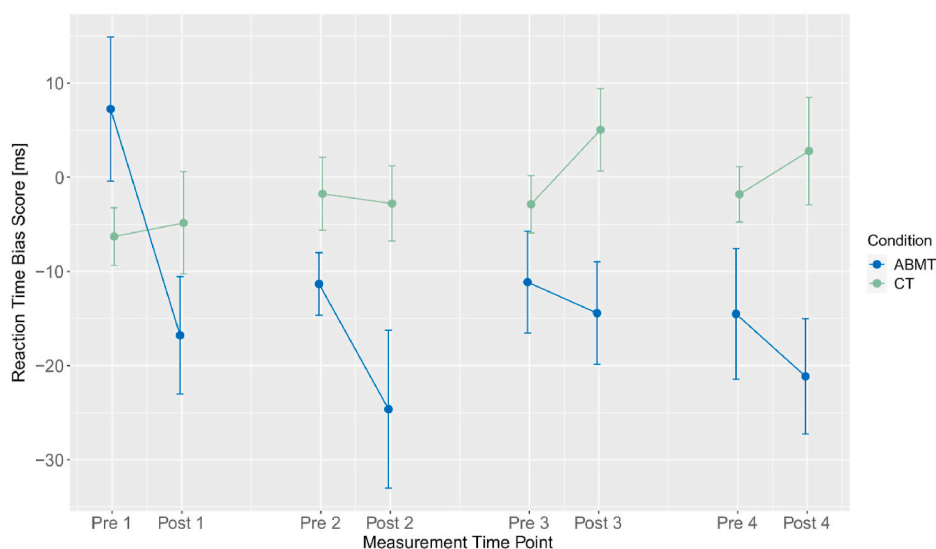
Fig. 6. Pairwise correlations between variables: change in reaction time bias, change in dwell time bias, change in reaction time trial-level bias score variability, change in dwell time trial-level bias score variability, and change in binge eating episodes. Variance of each variable is listed on the diagonal. Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Rollo, 2017). More importantly, though, when taking a closer look at the course of RT bias throughout trials in our data, there actually was a small numerical bias present for the ABMT group, at pre-baseline, before training started in session one. At post-baseline of session one, however, this bias was not only numerically levelled, but turned into a RT bias towards nonfood pictures on a descriptive level (see Fig. 7). This quick change had a strong leverage on the RT bias score for session one and thereby likely influenced our model parameters. Moreover, the (descriptive) reversal of RT bias already by the end of session one might have limited further change in following sessions due to floor effects. Aside from that, concerns about the RT data's low reliability remain, especially given the differing results obtained via dwell-time-based measures in the present study. Irrespectively, it is important to note again that inferential statistics show no significant RT bias modification in our data.

training effect on AB measured by dwell time (*H1c*). While there was a small increase in the CT group, AB decreased across sessions in the ABMT group. This replicates previous results of DPP-based trainings being able to modify AB in individuals suffering from BED, at least temporarily (Boutelle et al., 2016; Schmitz & Svaldi, 2017). Interestingly, the descriptive data illustrate that a considerable reduction in bias was already achieved within the first session (see also Fig. 8). Beyond that, it is important to note that habituation cannot be the sole process by which this change in bias occurred, as the CT group experienced an equal amount of exposure to food stimuli, without undergoing any reduction in dwell time bias.

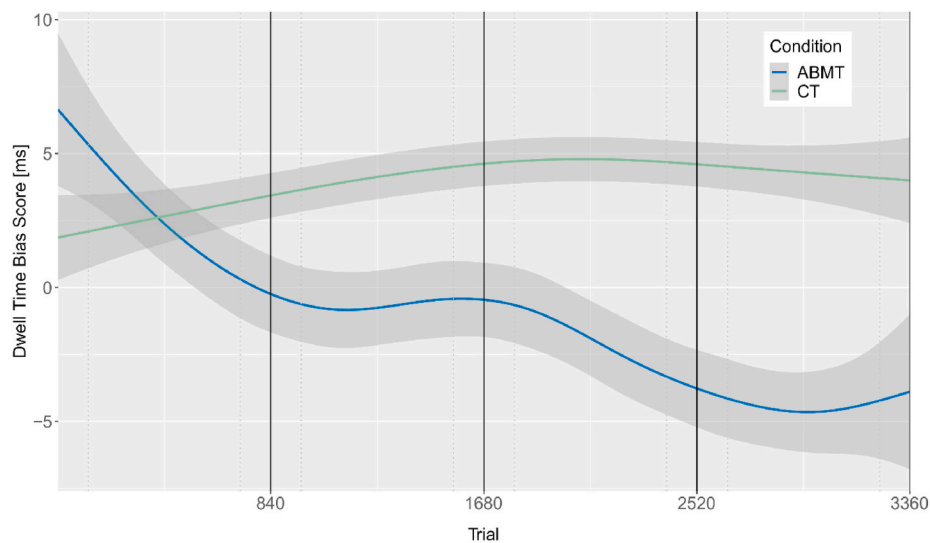
Furthermore, a more detailed analysis of dwell time bias scores across all trials allows for a more in-depth understanding of when bias modification took place: for the ABMT group, there was a numerical decline in bias within each of the first three sessions but not the last. Indeed, preferential processing of food vs. nonfood was already

In accordance with our third hypothesis, there was a differential



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 7. Mean reaction time bias score per training phase across all sessions, for both training groups with standard error bars. Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 8. Smoothed mean dwell time bias score across all trials for both training groups with shaded standard error. Vertical solid black lines separate different training sessions. Vertical dotted light grey lines separate pre-baseline, training, and post-baseline phases.

Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

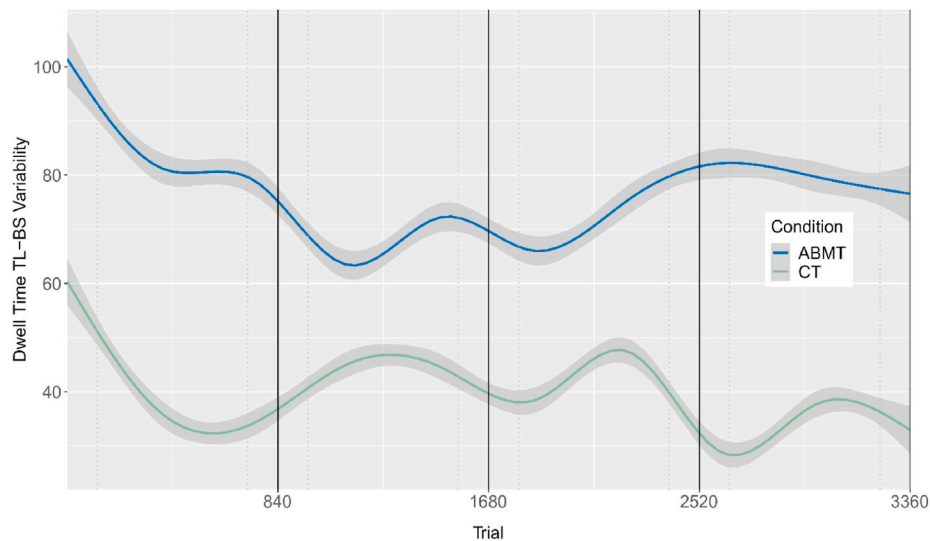
particularly low at the beginning of session four, potentially explaining a lack of further change. As breakfast was consumed right before completing this training session, the low level of bias might also be linked to participants' higher level of satiety at session four. This idea is supported by empirical evidence of a positive association between hunger and attentional food bias (Hardman et al., 2021). Having said this, absolute change in bias for the ABMT group, while statistically significant, was numerically small ($M_{biaschange} = 8.37$ ms from pre-baseline session one to post-baseline session four). This traces back to a large number of trials, in which neither food nor nonfood stimuli were looked at, most likely attributable to our short trial durations. Excluding these trials led to a considerable mean difference in bias for the ABMT group from pre-baseline at session one to post-baseline at session 4 ($M_{biaschange} = 24.89$ ms).

In opposition to our hypothesis, the ABMT did not differentially affect the temporal expression of the RT attentional bias (RT TL-BS variability; $H2a$). However, RT TL-BS variability significantly decreased from session one to session four across both groups. Following the idea that executive control is a possible mechanism underlying variability in individuals with overweight and obesity (Liu et al., 2019, 2022), our results might suggest that both ABMT and CT indirectly improved executive control. If this was the case, however, improvement in executive control did not serve as the sole mechanism of bias change, because reductions in dwell time and first fixation bias were significantly larger in the ABMT relative to the CT condition. Likewise, it is worth mentioning that the presumed relationship between executive control and bias variability has not been directly proven yet (Liu et al., 2022) and rather has been indirectly inferred. In this context, the duration of stimulus presentation also seems to play an important role. In fact, longer stimulus presentation durations appear to be associated with increased attention to presented stimuli. Thus, fluctuations in bias, as well as potential associations with other variables such as executive control should be more easily detectable (Liu, et al., 2022).

Contrary to our RT TL-BS variability results, but in line with our expectations, models confirm that dwell time bias variability decreased more in the ABMT compared to the CT group ($H2b$). As previously mentioned, this might indicate an improvement in executive control, especially for the ABMT group. Potential training effects of ABMT on executive function are of particular interest, since (1) individuals with

BED show deficits, at least in some domains of executive function (Cury et al., 2020) and (2) food-related attentional bias modification might be more effective for individuals with higher levels of executive function (Smith, Treffiletti, et al., 2020). If beneficial effects of ABMT on executive function prove to be true, especially multi-session trainings could make use of synergistic effects: across sessions executive function improves, thereby making the ABMT itself more effective. To attain a more thorough understanding of a potential interaction, we propose a future study that compares effects of an ABMT, a training of executive function and a combination of both trainings, on both AB and executive function.

Similar to our averaged dwell time results, reduction of dwell time TL-BS variability in the ABMT group mostly occurred within the first training session (see Fig. 9). Put another way, descriptive change in bias variability could be achieved already in a short amount of time. However, following the decline from session one to session two in the ABMT group, mean dwell time TL-BS variability numerically increased again in session three and session four - but without returning to the initial level (see Fig. 4b). For this measure, the advantage of the active training over the control training is therefore mostly pronounced after two sessions with a subsequent decrease. Looking at the course of change, the re-increase of bias seems to have occurred across session three (see Fig. 9). Future studies investigating the effect of multi-session ABMTs on variability measures should therefore explicitly test for nonlinear effects (e.g., by adding quadratic time effects), to test whether the faded benefit after more than two sessions can be replicated and statistically affirmed. Though, there was a much more pronounced effect present, in that dwell time TL-BS variability was generally higher for the active training condition. This pattern might be related, at least in part, to the general gaze behavior of the groups: In the CT there were more trials in which neither of the two stimuli were looked at. Accordingly, there were more trials for which the bias score was 0 ms, as well as more consecutive trials with bias scores of 0 ms. Thus, mean TL-BS variability decreases. This could be explained by the fact that participants learned the (non-)informativeness of the stimuli for position of the probe over time: To perform the task in the best possible way, it is worthwhile for the ABMT group, but not for the CT group, to look at the presented stimuli, as they indicate where the probe will appear more likely. Future studies might want to encourage a foveal inspection of stimuli by making them more task-relevant: For example, participants could be asked after some trials



Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

Fig. 9. Smoothed dwell time trial-level bias score variability across all trials for both training groups with shaded standard error. Vertical solid black lines separate different training sessions. Vertical dotted light grey lines separate pre-baseline, training, and post-baseline phases.

Note. ABMT = attentional bias modification training; CT = control training.

whether a particular stimulus was presented or not.

While there was a general decline in craving scores and number of binge eating episodes across sessions, contrary to our hypothesis, both variables were not influenced by training condition (*H3, H4a*). Similarly, calories eaten in a BTT (*H4b*) were not influenced by training condition. This result is somewhat at odds with the incentive sensitization theory, which proposes an association between enhanced motivated attention, the experience of craving and eating behavior (Berridge, 2009; Robinson & Berridge, 1993). According to this, stronger reductions of bias in the ABMT group should have led to a stronger decline in craving and dysfunctional eating behavior. Regarding craving, however, previous studies also found little (one of four subscales in Boutelle et al., 2016) or no evidence of significant craving reduction (Schmitz & Svaldi, 2017) in food-related ABMTs. In general, the association between AB and craving, while present, is rather small in magnitude, with AB explaining less than 2 % of variance in craving (Hardman et al., 2021). This could also explain why there were no significant changes in craving within training sessions. Besides, the unspecific reduction in subjective craving across sessions is mostly present in session four (see Fig. 5). The strong decline from session three to session four, however, is most likely attributable to participants consuming a breakfast exclusively prior to this session. The decline in craving remains statistically significant when excluding session four, though substantially decreases in magnitude and should therefore be interpreted with caution.

Regarding behavioral variables, it is conceivable that four training sessions might generally not suffice to produce a meaningful change in pathological eating behavior, at least via bias modification. This is also suggested by the absent condition effect on the taste test – even though it was scheduled directly after the last training session. Of note, mean calorie consumption in our taste test was quite low at around 395 kilocalories, especially when compared to the average calorie consumptions of roughly 1500–3000 kilocalories in a single binge eating episode (Wolfe, Baker, Smith, & Kelly-Weeder, 2009). It is at least questionable, whether the BTT in our study could serve as adequate proxy for everyday eating behavior. A pivotal reason for this lies in the feeling of shame associated with binge eating, which even promotes secretive eating (O’Loghlen et al., 2022). For one thing, at the time of the taste test, participants were not informed about the snacks being weighed. Then again, participants knew about the experimenter waiting nearby

which might have provoked a – justified – feeling of monitoring. Moreover, the situation’s parameters were quite different from the prototypical setting in which binge eating occurs: binge eating episodes predominantly occur alone, at home and in the afternoon and evening (Svaldi, Werle, Naumann, Eichler, & Berking, 2019). Furthermore, we used the same six types of snacks for all participants, regardless of their familiarity or preference. This might have contributed to the rather low calorie consumption of our participants and future studies might therefore benefit from idiosyncratic food items. Nevertheless, the BTT represents a valid measure of food intake (Robinson et al., 2017) and the lack of differential effects should be taken as an indicator that training condition did not influence eating behavior in the laboratory.

Another possible explanation for the incoherence between (differential) bias modification and (no differential) change in binge episodes resides in the differing contexts between training in a laboratory setting before returning to a naturalistic environment: in associative learning, change of context can reduce transfer effects, especially when associations are not formed for the first time (Rosas, Todd, & Bouton, 2013). Combining bias modification paradigms with ecological momentary intervention (EMI) could prove a promising addition to future studies: moving the actual training process from the laboratory to an everyday environment, e.g., via mobile applications, might strengthen the translation from changes in bias to changes in eating pathology. This idea has been proven effective for an app-based approach-avoidance training that increased healthy food choice and reduced weight in a sample of overweight and obese individuals (Kakoschke, Hawker, Castine, de Courten, & Verdejo-Garcia, 2018). A similar design including a BED sample, as well as a CT group could provide meaningful insights into the understanding of context effects in attentional bias modification. Following this thought, training might be even more effective in high-risk situations of binge eating, e.g., under high negative or low positive affect (Smith, Mason, et al., 2020; Svaldi et al., 2019). On a more general note, ecological momentary assessment (EMA) should be more suitable in capturing the high within-person variability in ABs, which substantially contributes to the prediction of binge eating (Smith, Mason, et al., 2020).

Several factors may account for the general decline in binge eating episodes across both groups: first and foremost, expectancy effects are likely to contribute to symptom reduction. While participants were not

informed about training details, they received written information about the training's aim of reducing binge eating episodes via changes in "reward sensitivity" (authorized deception). On a similar note, some general factors, such as repeatedly participating in experimental sessions in a university setting and talking about one's eating pathology as part of diagnostic interview, might also have ameliorated binge eating symptoms. Beyond that, even though between condition differences in bias modification - despite identical number of trials - rule out habituation via repeated exposure as sole mechanism at play, habituation might still have played a role in reducing binge eating episodes, albeit not via AB modification. Lastly, regression to the mean should be considered as a factor.

One criticism previously leveled at ABMTs – both in addiction (Franken & van de Wetering, 2015) and food (Jones, Hardman, Lawrence, & Field, 2018) - is that it is often treated as a universal intervention technique. However, looking at previous studies, there is a noticeable heterogeneity in bias between individuals suffering from BED (e.g., Schmitz & Svaldi, 2017). This is also reflected in our data, in that only 58 % of subjects at the pre-baseline of session one showed a dwell time bias toward food at all. For RT and first fixation bias this proportion was even lower at 39 % and 51 %, respectively. On one side, it is conceivable that the use of personalized stimuli could lead to a more adequate mapping of existing biases (Christiansen & Bloor, 2014; Christiansen, Mansfield, Duckworth, Field, & Jones, 2015; Jones et al., 2018). Still, the heterogeneity in our data, as well as in previous studies, suggests that ABs towards food do not play a similarly central role for all individuals with BED. Following this, it seems plausible that a bias modification could prove particularly effective for those individuals who exhibit a (stronger) bias towards food at the time of training. The strong negative correlation between random intercept and slope in our dwell time analysis supports this notion - individuals with stronger bias in the beginning exhibit a stronger reduction of bias throughout the training. Future studies evaluating ABMTs as treatment augmentation should investigate baseline food bias as potential moderator of effectiveness. In the present study, subgroup sample size and therefore statistical power do likely not suffice to conduct such a moderator analysis post-hoc, in a meaningful way.

Looking at correlations in the ABMT group, mostly low associations between changes in different measures of bias and its variability are noticeable. This underlines the notion of at least partially different constructs being represented. As mentioned before, more studies using different training protocols (e.g., ABMT and training of executive function) are necessary to further disentangle mechanisms underlying different measures of bias and variability. Correlations in the CT group should be interpreted with caution, as variance of almost all variables is small, resulting in small covariances. More specifically, the moderate negative correlation between change in dwell time bias and change in RT TL-BS variability hardly implies any substantive meaning, as both variables show little variance. Put in numbers: the mentioned correlation of $r = -.46$ in the CT group corresponds to a covariance that is, in absolute numbers, not even half as large as the covariance corresponding to the small correlation of $r = .26$ in the ABMT group.

This study exhibits several limitations. First, group sizes differ between ABMT and CT. This traces back to an adaption of our intended sample size during data acquisition, due to COVID-related recruitment difficulties. However, randomization lists were generated prior to data acquisition and were not altered subsequently. Notably though, on a methodological level, (G)LMMs, as we applied, are considered to be robust against unbalanced group sizes (Maas & Hox, 2005). Second, we chose short stimulus durations to attain a larger number of trials. On the one hand, this led to more opportunities to learn the probe-stimulus-association. On the other hand, longer presentation durations might have benefitted dwell time bias, as well as both measures of TL-BS variability (Liu et al., 2022; van Ens et al., 2019). Future studies might therefore benefit from implementing different stimulus durations. Third, the taste test was only implemented after the training, and not in

a pre-post-design, which would have facilitated the detection of possible condition effects and increased statistical power. We therefore propose adapting such a pre-post-design for future studies on AB modification using the BTT. In addition, such BTTs should incorporate participants' preferences in the selection of snacks. Doing so in future studies might help increase calorie consumption and the BTT's validity to better serve as a proxy for binge eating behavior. Fourth, we inquired about objective binge episodes via EDE, which only assesses episodes on a monthly level. The assessment of weekly objective binge eating episodes during the training period could provide more detailed information on how eating pathology changes across the four training sessions. Lastly, there are numerical differences in several baseline variables between both training groups, the most pronounced and the only statistically significant one of them being a higher mean EDE-Q score in the CT compared to the ABMT group. Subsequent studies should consider stratifying for central variables such as eating pathology when randomizing participants.

Nevertheless, this study provides meaningful insights into several AB measures across a multi-session training, in individuals with BED, including a control group. As demonstrated by various eye-tracking measures, ABMT is at least partially efficacious in reducing food-related bias in individuals with BED. Regarding this change, it is worth noting that there was already a reduction in bias within the first training session. However, there are no clear associations between the extent of bias change and the extent of change in craving and eating pathology. Apart from that, inconsistent results, and rather low correlations between different measures of bias indicate that they are not to be used interchangeably. While mechanisms behind food-specific attentional ABMTs are still in large part unexplained, analyzing and reporting a range of different measures could be helpful also for future studies.

Author note

This work was supported by the German Research Foundation (DFG) [SV 83/5-1, TU 78/10-1]. The sponsor did not influence the study design, data collection, analysis and interpretation, nor the writing of the report and the decision to submit the article for publication.

Ethical vote

The data analyzed in this manuscript stems from a two-center bias modification trial. It received a positive ethical vote by the university of Tübingen's medical faculty ethics committee: 232/2015B01.

CRedit authorship contribution statement

Dustin Werle: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Software, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Lynn Sablotny:** Writing – review & editing, Validation, Software, Project administration, Investigation, Data curation. **Brunna Tuschen-Caffier:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Funding acquisition, Conceptualization. **Jennifer Svaldi:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Funding acquisition, Conceptualization.

Declaration of competing interest

None.

All authors have approved the final article.

Data availability

Data will be made available on request.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107284>.

References

- Agh, T., Kovacs, G., Supina, D., Pawaskar, M., Herman, B. K., Voko, Z., et al. (2016). A systematic review of the health-related quality of life and economic burdens of anorexia nervosa, bulimia nervosa, and binge eating disorder. *Eating and Weight Disorders*, 21(3), 353–364. <https://doi.org/10.1007/s40519-016-0264-x>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.) Washington, DC: Author.
- Amir, I., Zvielli, A., & Bernstein, A. (2016). (De)coupling of our eyes and our mind's eye: A dynamic process perspective on attentional bias. *Emotion*, 16(7), 978–986. <https://doi.org/10.1037/emo0000172>
- Balodis, I. M., Molina, N. D., Kober, H., Worhunsky, P. D., White, M. A., Rajita, S., et al. (2013). Divergent neural substrates of inhibitory control in binge eating disorder relative to other manifestations of obesity. *Obesity*, 21(2), 367–377. <https://doi.org/10.1002/oby.20068>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Baur, J., Krohmer, K., Naumann, E., & Svaldi, J. (2022). Attentional processing of body images in women with overweight and obesity. *Eating and Weight Disorders*, 27(7), 2811–2819. <https://doi.org/10.1007/s40519-022-01419-1>
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). *Manual for the Beck depression inventory-II*. Psychological Corporation.
- Bello, N. T., & Hajnal, A. (2010). Dopamine and binge eating behaviors. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 97(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2010.04.016>
- Berridge, K. C. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards: Brain substrates and roles in eating disorders. *Physiology and Behavior*, 97(5), 537–550. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.044>
- Boutelle, K. N., Monreal, T., Strong, D. R., & Amir, N. (2016). An open trial evaluating an attention bias modification program for overweight adults who binge eat. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 52, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2016.04.005>
- Burrows, T., Skinner, J., McKenna, R., & Rollo, M. (2017). Food addiction, binge eating disorder, and obesity: Is there a relationship? *Behav Sci (Basel)*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/bs7030054>
- Cepeda-Benito, A., Gleaves, D. H., Williams, T. L., & Erath, S. A. (2000). The development and validation of the state and trait food-cravings questionnaires. *Behavior Therapy*. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(00\)80009-X](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(00)80009-X)
- Christiansen, P., & Bloor, J. F. (2014). Individualised but not general alcohol Stroop predicts alcohol use. *Drug and Alcohol Dependence*, 134, 410–413. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2013.10.021>
- Christiansen, P., Mansfield, R., Duckworth, J., Field, M., & Jones, A. (2015). Internal reliability of the alcohol-related visual probe task is increased by utilising personalised stimuli and eye-tracking. *Drug and Alcohol Dependence*, 155, 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2015.07.672>
- Cristea, I. A., Kok, R. N., & Cuijpers, P. (2015). Efficacy of cognitive bias modification interventions in anxiety and depression: meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, 206(1), 7–16. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.114.146761>
- Cury, M. E. G., Berberian, A., Scarpato, B. S., Kerr-Gaffney, J., Santos, F. H., & Claudino, A. M. (2020). Scrutinizing domains of executive function in binge eating disorder: A systematic review and meta-analysis. *Front Psychiatry*, 11(April), 288. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00288>
- Deluchi, M., Costa, F. S., Friedman, R., Gonçalves, R., & Bizarro, L. (2017). Attentional bias to unhealthy food in individuals with severe obesity and binge eating. *Appetite*, 108, 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.11.012>
- Drobes, D. J., Miller, E. J., Hillman, C. H., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Food deprivation and emotional reactions to food cues: Implications for eating disorders. *Biological Psychology*, 57(1–3), 153–177. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(01\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(01)00093-X)
- Fairburn, C. G., & Beglin, S. J. (1994). Assessment of eating disorders: Interview or self-report questionnaire? *International Journal of Eating Disorders*, 16(4), 363–370. [https://doi.org/10.1002/1098-108X\(199412\)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1098-108X(199412)16:4<363::AID-EAT2260160405>3.0.CO;2-%23)
- Fairburn, C., Cooper, Z., & O'Connor, M. (2008). Eating disorder examination. In C. G. Fairburn (Ed.), *Cognitive behavior therapy and eating disorders* (pp. 309–314). <https://doi.org/10.1037/t03975-000>
- First, M. B., Gibbon, M., Spitzer, R., Williams, J., & Benjamin, L. (1997). *Structured clinical interview for DSM-IV axis II personality disorders (SCID-II)*. American Psychiatric Press.
- First, M. B., Spitzer, R. L., Gibbon, M., & Williams, J. B. W. (1996). *Structured clinical interview for DSM-IV axis I disorders, clinician version (SCID-CV)*. American Psychiatric Press.
- Franken, I. H. A., & van de Wetering, B. J. M. (2015). Bridging the gap between the neurocognitive lab and the addiction clinic. *Addictive Behaviors*, 44, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2014.11.034>
- Fydrich, T., Renneberg, B., Schmitz, B., & Wittchen, H. U. (1997). *Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV, Achse II: Persönlichkeitsstörungen; eine deutschsprachige, erweiterte Bearbeitung der amerikanischen Originalversion des SCID-II [Structured clinical interview for DSM-IV, axis II: Personality disorders; a German-language, extended editing of the SCID's American original version]*. Hogrefe.
- Hardman, C. A., Jones, A., Burton, S., Duckworth, J. J., McGale, L. S., Mead, B. R., et al. (2021). Food-related attentional bias and its associations with appetitive motivation and body weight: A systematic review and meta-analysis. *Appetite*, 157, Article 104986. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104986>
- Hautzinger, M., Keller, F., & Kühner, C. (2006). *Beck depressions-inventar: BDI II revision*. Harcourt Test Services.
- Hege, M. A., Stingl, K. T., Kullmann, S., Schag, K. E., Zipfel, S., et al. (2015). Attentional impulsivity in binge eating disorder modulates response inhibition performance and frontal brain networks. *International Journal of Obesity*, 39(2), 353–360. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.99>
- Heitmann, J., Bennis, E. C., van Hemel-Ruiter, M. E., & de Jong, P. J. (2018). The effectiveness of attentional bias modification for substance use disorder symptoms in adults: A systematic review. *Systematic Reviews*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s13643-018-0822-6>
- Hilbert, A., Hoek, H. W., & Schmidt, R. (2017). Evidence-based clinical guidelines for eating disorders: International comparison. *Current Opinion in Psychiatry*, 30(6), 423–437. <https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000360>
- Hilbert, A., Petroff, D., Herpertz, S., Pietrowsky, R., Tuschen-Caffier, B., Vocks, S., et al. (2019). Meta-analysis of the efficacy of psychological and medical treatments for binge-eating disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 87(1), 91–105. <https://doi.org/10.1037/ccp0000358>
- Hilbert, A., Tuschen-Caffier, B., Karwautz, A., Niederhofer, H., & Munsch, S. (2007). Eating disorder examination-questionnaire. *Diagnostica*, 53(3), 144–154.
- Hilbert, A., Tuschen-Caffier, B., & Ohms, M. (2004). Eating disorders examination: A German version of the structured eating disorder interviews. *Diagnostica*, 50(2), 98–106. <https://doi.org/10.1026/0012-1924.50.2.98>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: OUP.
- Hudson, J. I., Hiripi, E., Pope, H. G., & Kessler, R. C. (2007). The prevalence and correlates of eating disorders in the national comorbidity survey replication. *Biological Psychiatry*. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.040>
- Jones, A., Hardman, C. A., Lawrence, N., & Field, M. (2018). Cognitive training as a potential treatment for overweight and obesity: A critical review of the evidence. *Appetite*, 124, 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.032>
- Kakoschke, N., Hawker, C., Castine, B., de Courten, B., & Verdejo-Garcia, A. (2018). Smartphone-based cognitive bias modification training improves healthy food choice in obesity: A pilot study. *European Eating Disorders Review*, 26(5), 526–532. <https://doi.org/10.1002/erv.2622>
- Kakoschke, N., Kemps, E., & Tiggemann, M. (2014). Attentional bias modification encourages healthy eating. *Eating Behaviors*, 15(1), 120–124. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2013.11.001>
- Kemps, E., Tiggemann, M., & Hollitt, S. (2016). Longevity of attentional bias modification effects for food cues in overweight and obese individuals. *Psychology and Health*, 31(1), 115–129. <https://doi.org/10.1080/08870446.2015.1077251>
- Kemps, E., Tiggemann, M., Orr, J., & Gear, J. (2014). Attentional retraining can reduce chocolate consumption. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(1), 94. <https://doi.org/10.1037/xap0000005>
- Leehr, E. J., Schag, K., Brinkmann, A., Ehls, A. C., Fallgatter, A. J., Zipfel, S., et al. (2016). Alleged approach-avoidance conflict for food stimuli in binge eating disorder. *PLoS One*, 11(4), Article e0152271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152271>
- Linardon, J. (2018). Rates of abstinence following psychological or behavioral treatments for binge-eating disorder: Meta-analysis. *International Journal of Eating Disorders*, 51(8), 785–797. <https://doi.org/10.1002/eat.22897>
- Liu, Y., Roefs, A., & Nederkoorn, C. (2022). Fluctuations in attentional bias for food and the role of executive control. *Appetite*, 168, Article 105761. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105761>
- Liu, Y., Roefs, A., Werthmann, J., & Nederkoorn, C. (2019). Dynamics of attentional bias for food in adults, children, and restrained eaters. *Appetite*, 135, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.01.004>
- Maas, C. J., & Hox, J. J. (2005). Sufficient sample sizes for multilevel modeling. *Methodology*, 1(3), 86–92. <https://doi.org/10.1027/1614-2241.1.3.86>
- MacLeod, C., Rutherford, E., Campbell, L., Ebsworthy, G., & Holker, L. (2002). Selective attention and emotional vulnerability: Assessing the causal basis of their association through the experimental manipulation of attentional bias. *Journal of Abnormal Psychology*, 111(1), 107. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.111.1.107>
- Meule, A., Lutz, A., Vögele, C., & Kübler, A. (2012). Food cravings discriminate differentially between successful and unsuccessful dieters and non-dieters. Validation of the Food Cravings Questionnaires in German. *Appetite*, 58(1), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.09.010>
- Navas, J. F., Verdejo-Garcia, A., & Vadillo, M. A. (2021). The evidential value of research on cognitive training to change food-related biases and unhealthy eating behavior: A systematic review and p-curve analysis. *Obesity Reviews*, 22(12), Article e13338. <https://doi.org/10.1111/obr.13338>
- Nijs, I. M. T., Franken, I. H. A., & Muris, P. (2007). The modified Trait and State Food-Cravings Questionnaires: Development and validation of a general index of food craving. *Appetite*. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.11.001>
- O'Loughlin, E., Grant, S., & Galligan, R. (2022). Shame and binge eating pathology: A systematic review. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 29(1), 147–163. <https://doi.org/10.1002/cpp.2615>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>.

- Rieger, E., Wilfley, D. E., Stein, R. I., Marino, V., & Crow, S. J. (2005). A comparison of quality of life in obese individuals with and without binge eating disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 37(3), 234–240. <https://doi.org/10.1002/eat.20101>
- Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (1993). The neural basis of drug craving: An incentive-sensitization theory of addiction. *Brain Research Reviews*, 18(3), 247–291. [https://doi.org/10.1016/0165-0173\(93\)90013-P](https://doi.org/10.1016/0165-0173(93)90013-P)
- Robinson, E., Haynes, A., Hardman, C. A., Kemps, E., Higgs, S., & Jones, A. (2017). The bogus taste test: Validity as a measure of laboratory food intake. *Appetite*, 116, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.002>
- Rodebaugh, T. L., Scullin, R. B., Langer, J. K., Dixon, D. J., Huppert, J. D., Bernstein, A., et al. (2016). Unreliability as a threat to understanding psychopathology: The cautionary tale of attentional bias. *Journal of Abnormal Psychology*, 125(6), 840. <https://doi.org/10.1037/abn0000184>
- Rosas, J. M., Todd, T. P., & Bouton, M. E. (2013). Context change and associative learning. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 4(3), 237–244. <https://doi.org/10.1002/wcs.1225>
- Santomauro, D. F., Melen, S., Mitchison, D., Vos, T., Whiteford, H., & Ferrari, A. J. (2021). The hidden burden of eating disorders: An extension of estimates from the global burden of disease study 2019. *The Lancet Psychiatry*, 8(4), 320–328. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(21\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(21)00040-7)
- Schmitz, F., Naumann, E., Biehl, S., & Svaldi, J. (2015). Gating of attention towards food stimuli in binge eating disorder. *Appetite*, 95, 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.023>
- Schmitz, F., Naumann, E., Trentowska, M., & Svaldi, J. (2014). Attentional bias for food cues in binge eating disorder. *Appetite*, 80, 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.04.023>
- Schmitz, F., & Svaldi, J. (2017). Effects of bias modification training in binge eating disorder. *Behavior Therapy*, 48(5), 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2017.04.003>
- Schulte, E. M., Grilo, C. M., & Gearhardt, A. N. (2016). Shared and unique mechanisms underlying binge eating disorder and addictive disorders. *Clinical Psychology Review*, 44, 125–139. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.02.001>
- Smith, K. E., Mason, T. B., Juarascio, A., Weinbach, N., Dvorak, R., Crosby, R. D., et al. (2020). The momentary interplay of affect, attention bias, and expectancies as predictors of binge eating in the natural environment. *International Journal of Eating Disorders*, 53(4), 586–594. <https://doi.org/10.1002/eat.23235>
- Smith, E., Treffiletti, A., Bailey, P. E., & Moustafa, A. A. (2020). The effect of attentional bias modification training on food intake in overweight and obese women. *Journal of Health Psychology*, 25(10–11), 1511–1521. <https://doi.org/10.1177/1359105318758856>
- Sperling, I., Baldofski, S., Lüthold, P., & Hilbert, A. (2017). Cognitive food processing in binge-eating disorder: An eye-tracking study. *Nutrients*, 9(8), 903. <https://doi.org/10.3390/nu9080903>
- Stojek, M., Shank, L. M., Vannucci, A., Bongiorno, D. M., Nelson, E. E., Waters, A. J., et al. (2018). A systematic review of attentional biases in disorders involving binge eating. *Appetite*, 123, 367–389. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.019>
- Striegel, R. H., Bedrosian, R., & Wang, C. (2012). Comparing work productivity in obesity and binge eating. *International Journal of Eating Disorders*, 45(8), 995–998. <https://doi.org/10.1002/eat.22069>
- Suokas, J. T., Suvisaari, J. M., Gissler, M., Löfman, R., Linna, M. S., Raevuori, A., et al. (2013). Mortality in eating disorders: A follow-up study of adult eating disorder patients treated in tertiary care, 1995–2010. *Psychiatry Research*, 210(3), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2013.07.042>
- Svaldi, J., Naumann, E., Trentowska, M., & Schmitz, F. (2014). General and food-specific inhibitory deficits in binge eating disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 47(5), 534–542. <https://doi.org/10.1002/eat.22260>
- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Peyk, P., & Blechert, J. (2010). Information processing of food pictures in binge eating disorder. *Appetite*, 55(3), 685–694. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.10.002>
- Svaldi, J., Tuschen-Caffier, B., Trentowska, M., Caffier, D., & Naumann, E. (2014). Differential caloric intake in overweight females with and without binge eating: Effects of a laboratory-based emotion-regulation training. *Behaviour Research and Therapy*, 56, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2014.02.008>
- Svaldi, J., Werle, D., Naumann, E., Eichler, E., & Berking, M. (2019). Prospective associations of negative mood and emotion regulation in the occurrence of binge eating in binge eating disorder. *Journal of Psychiatric Research*, 115, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2019.05.005>
- Vöhringer, J., Hütter, M., Schroeder, P. A., & Svaldi, J. (2023). Does a white bear help you eat less? The impact of the inhibitory spillover effect on eating behaviour. *European Eating Disorders Review*, 31(5), 685–695. <https://doi.org/10.1002/erv.2995>
- van Ens, W., Schmidt, U., Campbell, I. C., Roefs, A., & Werthmann, J. (2019). Test-retest reliability of attention bias for food: Robust eye-tracking and reaction time indices. *Appetite*, 136, 86–92.
- Wang, G. J., Geliebter, A., Volkow, N. D., Telang, F. W., Logan, J., Jayne, M. C., et al. (2011). Enhanced striatal dopamine release during food stimulation in binge eating disorder. *Obesity*, 19(8), 1601–1608. <https://doi.org/10.1038/oby.2011.27>
- Werle, D., Sablöttny, L., Ansoorge, U., Biehl, S. C., Tuschen-Caffier, B., & Svaldi, J. (2023). Attention to food stimuli in binge eating disorder: Electrophysiological evidence. Department of Clinical Psychology and Psychotherapy, University of Tübingen [Manuscript submitted for publication].
- Werle, D., Schroeder, P. A., Wolz, I., & Svaldi, J. (2021). Incentive sensitization in binge behaviors: A mini review on electrophysiological evidence. *Addict Behav Rep*, 13, Article 100344. <https://doi.org/10.1016/j.abrep.2021.100344>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* [PDF]. Springer International Publishing.
- Wie, T., & Simko, V. (2021). R package “corrplot”: Visualization of a correlation matrix. <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Williamson, D. A., White, M. A., York-Crowe, E., & Stewart, T. M. (2004). Cognitive-behavioral theories of eating disorders. *Behavior Modification*, 28(6), 711–738. <https://doi.org/10.1177/0145445503259853>
- Wittchen, H. U., Zaudig, M., & Fydrich, T. (1997). *Strukturiertes klinisches Interview für DSM-IV: SKID; eine deutschsprachige, erweiterte Bearbeitung der amerikanischen Originalversion des SCID* [structured clinical interview for DSM-IV: SCID; a German-language, extended editing of the SCID's American original version]. Hogrefe.
- Wolfe, B. E., Baker, C. W., Smith, A. T., & Kelly-Weeder, S. (2009). Validity and utility of the current definition of binge eating. *International Journal of Eating Disorders*, 42(8), 674–686. <https://doi.org/10.1002/eat.20728>
- Zhang, S., Cui, L., Sun, X., & Zhang, Q. (2018). The effect of attentional bias modification on eating behavior among women craving high-calorie food. *Appetite*, 129, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.07.004>
- Zvielli, A., Bernstein, A., & Koster, E. H. (2014). Dynamics of attentional bias to threat in anxious adults: Bias towards and/or away? *PLoS One*, 9(8), Article e104025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104025>
- Zvielli, A., Bernstein, A., & Koster, E. H. (2015). Temporal dynamics of attentional bias. *Clinical Psychological Science*, 3(5), 772–788. <https://doi.org/10.1177/2167702614551572>

Danksagung

Der erste Dank und ein besonderer Dank gilt Jennifer Svaldi für die enge und unterstützende Betreuung dieser Arbeit sowie die kontinuierliche Verfügbarkeit bei Rückfragen über die vergangenen Jahre.

Weiter gilt mein Dank Martin Hautzinger für die Zweitbetreuung dieser Arbeit.

Ebenso danke ich allen Kolleg*innen aus dem Arbeitsbereich für Klinische Psychologie und Psychotherapie, der KlinGang, ohne deren Unterstützung die Umsetzung dieses Projektes ebenso unmöglich gewesen wäre. Ein besonderer Dank hierbei an Kerstin für die Aufmunterungen und Drohungen, die mich am Ball bleiben ließen und an Jule, die eine unschätzbare Säule für die gesamte Abteilung bildet; ebenso an Mareike und Mechi für deren besonderen Support auf der Zielgeraden.

Ein weiterer Dank gilt allen Kolleg*innen aus Freiburg, die an diesem Projekt mitgewirkt haben, allen voran Brunna Tuschen-Caffier und Lynn.

Ich danke meiner Familie, ohne deren emotionale Unterstützung die Wahrscheinlichkeit dieser Promotion auf exakt Null gefallen wäre. Allen voran danke ich dabei meiner geliebten Ehefrau Luisa, die in den letzten Jahren, auch aufgrund dieser Arbeit, viel aushalten und erdulden musste und meiner Mutter Belinda für die unzähligen Telefonate und die aufrichtige Unterstützung darin, jederzeit abbrechen zu können. Und ich danke auch meinem Vater Hartmut, meinem Bruder Len und meinen Schwestern Lea und Xenia für ihren immerwährenden Beistand.

Ich danke all meinen Freund*innen in Tübingen, Rottweil, Bonn und wo sie sonst noch verteilt sind. Ihr seid die besten Menschen, die man sich wünschen kann.

Zuletzt gilt ein besonderer Dank allen Proband*innen, die an Studien dieser Arbeit teilgenommen haben und damit einen wichtigen Teil zur Erforschung der Binge-Eating-Störung leisten.