

Aus der Universitätsklinik
für Psychiatrie und Psychotherapie
Abteilung Allgemeine Psychiatrie und Psychotherapie mit
Poliklinik

**Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler
Vibrationsreize und ihre Beeinflussbarkeit durch die
Rubber Hand Illusion bei Patienten mit emotional
instabiler Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

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

vorgelegt von

Becker-Sadzio, geb. Sadzio, Julia

2019

Dekan: Professor Dr. I.B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. C. Plewnia
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. A. Lindner

Tag der Disputation: 02.10.2019

Ich danke allen, die mich unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	8
1.2 Die emotional-instabile Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ (BPS)	10
1.3 Körperwahrnehmung bei der emotional-instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ	12
1.4 Dissoziation bei der emotional-instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ (BPS).....	13
1.5 Die Rubber Hand Illusion (RHI) und Untersuchungen bei psychischen Erkrankungen	14
2 Material und Methoden	17
2.1 Probanden und Kontrollprobanden	17
2.2 Versuchsaufbau und -durchführung	18
2.3 Telexperiment 1: Die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests.....	19
2.4 Telexperiment 2: Der Einfluss der RHI auf die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize	20
2.4.1 Induktion der Rubber Hand Illusion	20
2.5 Fragebogendiagnostik	23
2.5.1 Die Borderline-Symptom-Liste-23 (BSL-23)	23
2.5.2 Die Dissoziations-Spannungs-Skala akut (DSS-akut)	24
2.5.3 Fragebogen zu dissoziativen Symptomen (FDS-20)	24
2.5.4 Childhood Trauma Questionnaire (CTQ).....	25
2.5.5 SCL-90-R.....	25
2.6 Statistische Auswertung.....	26
3 Ergebnisse	27
3.1 Probanden- und Kontrollgruppe – Vergleich demographischer und psychometrischer Daten	27
3.2 Telexperiment 1: Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe	29
3.3 Telexperiment 2: Somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe unter Anwendung der Rubber Hand Illusion.....	30
3.3.1 Die Intensität der Illusionstiefe und der propriozeptive Drift	31
3.3.2 Die somatosensorische Wahrnehmung von Vibrationsreizen nach Induktion der RHI.....	32
3.3.3 Das Erkennen der Scheinstimulation vor und während Induktion der Rubber Hand Illusion und der Zusammenhang zur Illusionstiefe und psychometrischen Daten	34
3.3.4 Akutes dissoziatives Erleben nach Induktion der RHI, die allgemeine Dissoziationsneigung und der Zusammenhang zur Illusionstiefe, dem Erkennen von Vibrationsreizen und weiteren psychometrischen Parametern.....	36
4 Diskussion	40

4.1 Fragebogendiagnostik	41
4.2 Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe	43
4.3 Die Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe	44
4.4 Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize unter Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe	48
4.5 Limitationen der vorliegenden Studie	50
5 Schlussfolgerungen und Implikationen.....	51
6 Zusammenfassung	53
7 Literaturverzeichnis	55
Erklärung zum Eigenanteil.....	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Diagnostische Kriterien der emotional-instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ nach DSM-5.....	11
Tabelle 2. Ein- und Ausschlusskriterien.....	18
Tabelle 3. Fragebogen zur Erhebung der Illusionstiefe analog zu Bekrater- Bodman et al. (2016).....	22
Tabelle 4. Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und Patienten mit BPS hinsichtlich Geschlecht, Alter, BSL-23, FDS-20, SCL-90 und Traumatisierungen in der Kindheit.....	28
Tabelle 5. Einsatz von Psychopharmaka bei Patienten mit BPS.....	28
Tabelle 6. Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS in Bezug auf die Intensität der Illusionstiefe.....	32
Tabelle 7. Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS in Bezug auf das Erkennen der Scheinstimulation mit und ohne RHI.	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.....	20
Abbildung 2. Anzahl korrekt diskriminierter taktiler Reize (in %) nach Einzelintensitäten vor Induktion der RHI im Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS.....	30
Abbildung 3. Die Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen vor und während der Durchführung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.....	33
Abbildung 4. Anzahl korrekt diskriminierter taktiler Reize nach Einzelintensitäten (in %) nach Induktion der RHI im Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS.....	34
Abbildung 5. Vergleich der akuten dissoziativen Symptome während der Durchführung der Rubber Hand Illusion bei gesunden Kontrollen und Patienten mit BPS.....	37
Abbildung 6. Zusammenhang zwischen dem Ausbilden von akuten dissoziativen Phänomenen und dem korrekten Erkennen von taktilen Vibrationsreizen nach Induktion der RHI bei der gesunden Kontrollgruppe.	39

Abkürzungsverzeichnis

BPS	emotional instabile Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ
BSL-23	Borderline Symptom Checkliste 23
CTQ	Childhood Trauma Questionnaire
DBT-PTBS	dialektisch behaviorale Therapie für posttraumatische Belastungsstörungen
DSM-IV	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. Fourth edition.
DSM-V	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. Fifth edition.
DSS-akut	Dissoziations-Spannungs-Skala akut
FDS-20	Fragebogen zu dissoziativen Symptomen
GSI	Global severity index
Hz	Hertz
ICD-10	Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme
IPDE	International Personality Disorder Examination
MRT	Magnetresonanztomographie
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
tDCS	transkranielle Gleichstromstimulation
SCID-I	Structured Clinical Interview for DSM-IV Axis I Disorders
RHI	Rubber Hand Illusion
rTPJ	right temporo-parietal junction
SCL-90-R	Symptom Checkliste 90-revised
SD	Standard deviation
Vs.	versus

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Die emotional instabile Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ (BPS) ist mit einer Prävalenz von 2,7% (1) eine häufige psychische Erkrankung und geht für die Betroffenen mit einem erheblichen Leidensdruck einher. Kernsymptome dieser Störung sind wiederkehrende Anspannungszustände, zwischenmenschliche Schwierigkeiten und eine schwerwiegende Störung der Affektregulation (2). Neben dieser Symptomatik kommt es bei Patienten mit BPS häufig zu dem Auftreten von dissoziativen Symptomen (3), die sich klinisch sehr heterogen präsentieren können und sowohl psychische als auch somatoforme Symptome beinhalten.

Zudem ist bekannt, dass es ebenfalls im Bereich der somatosensorischen Körperwahrnehmung zu Beeinträchtigungen kommt. Diesbezüglich beschreiben frühere Studien vorwiegend eine veränderte Schmerzwahrnehmung und – Verarbeitung. Andere somatosensorische Submodalitäten sind bislang nicht ausreichend untersucht worden, sodass unklar ist, ob bei Patienten mit BPS von einem generalisierten somatosensorischen Defizit ausgegangen werden kann.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen durch die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.

Im Rahmen von den oben genannten dissoziativen Zuständen kann es bei dieser Patientengruppe zu einer veränderten Wahrnehmung des Körpers, des Selbstempfindens und der Umwelt kommen. Die sogenannte Rubber Hand Illusion (RHI) nach Botvinick und Cohen (4) stellt eine experimentelle Möglichkeit zur Manipulation der Körpergrenzen dar, indem eine künstliche Hand in das eigene Körperempfinden integriert wird. Hierbei wird vor dem Probanden eine künstliche Hand platziert, während die eigene Hand hinter einer Trennwand verborgen wird, sodass dem Probanden die Sicht auf die

eigene Hand verwehrt wird. Im Anschluss werden dem Probanden zwei inkonsistente Sinnesdrücke durch zeitgleiches Berühren der künstlichen und der eigenen Hand präsentiert: an der künstlichen Hand sieht der Proband die Berührung und an der eigenen Hand fühlt er diese Berührung. Hierbei kommt es zur sogenannten „multisensorischen Integration“ (5) des visuellen und taktilen Reizes zu einem kongruenten Empfinden, sodass die künstliche Hand als eigene Hand in das Körperempfinden integriert wird. Somit stellt die RHI durch die Darbietung inkonsistenter multisensorischer Informationen eine experimentelle Möglichkeit dar, die Plastizität der Körperrepräsentation zu überprüfen. Ergänzend zur Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Reize ist es ein weiteres Ziel dieser Studie die Beeinflussbarkeit dieser Wahrnehmung durch die Rubber Hand Illusion zu untersuchen. Die RHI wurde bereits vielfach untersucht und kam auch unter verschiedenen psychopathologischen Bedingungen zur Anwendung. Bislang gibt es jedoch nur eine Studie, die die RHI bei Patienten mit BPS untersuchte. Hierbei konnte gezeigt werden, dass Patienten mit BPS stärker zur Integration der Rubber Hand in das eigene Körperempfinden neigten als gesunde Kontrollprobanden und dies in Zusammenhang mit dem Auftreten dissoziativen Erlebens stand (6).

Neben der somatosensorischen Reizwahrnehmung sollte die Veränderbarkeit der Fähigkeit zur taktilen Reizdiskrimination durch die RHI in zwei Telexperimenten überprüft werden. Im ersten Telexperiment erfolgte die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe. Im zweiten Telexperiment erfolgte vor Prüfung der Reizwahrnehmung die Induktion der RHI. Es ergaben sich für die vorliegende Studie also folgende Hypothesen:

- Patienten mit BPS zeigen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe eine verminderte somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen.

- Die Körperrepräsentation bei Patienten mit BPS ist plastischer als bei gesunden Kontrollprobanden, sodass die Rubber Hand Illusion stärker induziert werden kann.
- Durch die RHI kommt es hinsichtlich taktiler Reize zu einer herabgesetzten Reiz-Diskriminations-Fähigkeit.

Zusammenfassend kann die vorliegende Studie also weitere Erkenntnisse in Bezug auf die somatosensorische Körperwahrnehmung von Patienten mit BPS liefern und den Zusammenhang zur Plastizität der somatosensorischen Körperrepräsentation näher untersuchen.

1.2 Die emotional instabile Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ (BPS)

Die BPS ist mit einer Lebenszeitprävalenz von etwa 2,7% (1) eine häufige psychische Erkrankung und geht für die Betroffenen mit einem erheblichen Leidensdruck und eingeschränkter psychosozialer Funktionalität in verschiedenen Lebensbereichen einher (7).

Nach DSM-5 gibt es insgesamt 9 diagnostische Kriterien, von denen mindestens 5 Kriterien über einen ausreichend langen Zeitraum erfüllt sein müssen, um bei einem Patienten eine emotional instabile Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ diagnostizieren zu können (8). Zwischen den Geschlechtern gibt es hinsichtlich der Prävalenz keine Unterschiede. Männer und Frauen sind gleich häufig betroffen (9). Häufig kommt es zu dem Auftreten von Komorbiditäten, wobei Angststörungen (inklusive der posttraumatischen Belastungsstörung) und affektive Störungen - gefolgt von Abhängigkeitserkrankungen- hierbei die häufigsten Komorbiditäten darstellen (1).

Nach dem biopsychosozialen Model nach M. Linehan kann es bei biologischen Vulnerabilitätsfaktoren wie beispielsweise einer Hochsensibilität in Bezug auf die Wahrnehmung von Emotionen und invalidierenden Umwelteinflüssen zu

dem Entstehen einer BPS kommen (10). Auch (sexuelle) Traumatisierungen in der Kindheit spielen neben anderen Faktoren eine große Rolle in der Entstehung dieser Erkrankung (11).

Im Zentrum dieses Störungsbildes stehen eine ausgeprägte Störung der Affektregulation mit wiederkehrenden Anspannungszuständen sowie die Neigung zu selbstverletzendem Verhalten und Suizidalität (2). Laut Soloff und Chiapetta kommt es im Verlauf von 10 Jahren bei 46,6% Prozent der Betroffenen zu mindestens einem Suizidversuch (12).

Zur störungsspezifischen Behandlung stehen verschiedene psychotherapeutische Verfahren zur Verfügung. Sehr gute Behandlungserfolge sind für kognitiv behaviorale Therapiemethoden, wie beispielsweise der dialektisch behavioralen Therapie nach M. Linehan, nachgewiesen (13).

Die alleinige psychopharmakologische Behandlung hingegen ist obsolet. Häufig eingesetzte Medikamente zur symptomorientierten Psychopharmakotherapie sind Antipsychotika, Stimmungsstabilisierer und Medikamente aus der Gruppe der Antidepressiva. Laut Hancock-Johnson et al. gibt es Hinweise für die Wirksamkeit von Antipsychotika (insbesondere Olanzapin) hinsichtlich einer allgemeinen Symptomreduktion, jedoch keine Wirksamkeit von Stimmungsstabilisierern gegenüber Placebo (14).

Diagnostische Kriterien nach DSM-5

Verzweifertes Bemühen, tatsächliches oder vermutetes Verlassen werden zu vermeiden

Ein Muster instabiler, aber intensiver zwischenmenschlicher Beziehungen, **das durch einen Wechsel zwischen den Extremen der Idealisierung und Entwertung gekennzeichnet ist**

Eine ausgeprägte und andauernde Instabilität des Selbstbildes oder der Selbstwahrnehmung

Impulsivität **in mindestens zwei potentiell selbstschädigenden Bereichen**

Wiederholte suizidale Handlungen, **Selbstmordandeutungen oder -drohungen** oder Selbstverletzungsverhalten

Affektive Instabilität **infolge einer ausgeprägten Reaktivität der Stimmung**

Chronische Gefühle von Leere **und Langeweile**

Unangemessene, heftige Wut oder Schwierigkeiten, die Wut zu kontrollieren

Vorübergehende, durch Belastungen ausgelöste paranoide Vorstellungen **oder schwere** dissoziative Symptome

Tabelle 1. Diagnostische Kriterien der emotional instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ nach DSM-5.

1.3 Körperwahrnehmung bei der emotional instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ

Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen zur Körperwahrnehmung und Wahrnehmung von Reizen bei Patienten mit BPS.

Vorbestehende Untersuchungen beziehen sich überwiegend auf die Wahrnehmung und Verarbeitung von Schmerzen. Andere somatosensorische Submodalitäten wurden bislang wenig berücksichtigt. In Bezug auf die Wahrnehmung von Schmerzen gibt es Hinweise darauf, dass es bei Patienten mit BPS zu einer nozizeptiven Hyposensitivität kommt (15, 16), wobei die Wahrnehmung von Schmerzen eng in Zusammenhang mit Fertigkeiten zur Emotionsregulation zu stehen scheint (17). Ginzburg et al. konnten darüber hinaus zeigen, dass die Wahrnehmung von Schmerzen positiv mit der allgemeinen Körperwahrnehmung korreliert (18), sodass insgesamt davon ausgegangen werden kann, dass der Schmerzwahrnehmung keine statischen, sondern vielmehr dynamische Prozesse in Abhängigkeit individueller Bewertungs- und Umweltprozessen zugrunde liegen.

Weiterhin konnte ein negativer Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Schmerzen und dissoziativen Symptomen festgestellt werden (19).

Bislang ist noch ungeklärt, ob die oben genannten somatosensorischen Veränderungen im Sinne einer generalisierten somatosensorischen Dysfunktion bei Patienten mit BPS zu interpretieren sind. Pavony et al. untersuchten neben nozizeptiven Reizen auch die Wahrnehmung Berührungsreizen (Zwei-Punkt-Diskrimination) und konnten diesbezüglich keine Unterschiede zu gesunden Kontrollprobanden feststellen und schlussfolgerten, dass es bei Patienten nicht zu einer generellen somatosensorischen Dysfunktion komme (20) und die beschriebenen Defizite schmerzspezifisch seien. Darüber hinaus gibt es bislang keine weiteren Untersuchungen, um die diese Hypothese bestätigen zu können. Die vorliegende Studie kann ergänzende Erkenntnisse in Bezug auf die somatosensorische Wahrnehmung von nicht schmerz-assoziierten Reizen bei Patienten mit BPS liefern.

1.4 Dissoziation bei der emotional instabilen Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ (BPS)

Dissoziation ist ein häufiges Symptom bei psychischen Erkrankungen und stellt sich in einer sehr heterogenen Psychopathologie dar. Nach DSM-5 bezeichnet Dissoziation eine Unterbrechung von normalerweise integrativen Funktionen des Bewusstseins, des Gedächtnisses, der Identität, der Wahrnehmung, der Emotionen, der Körperwahrnehmung und der Motorik (8).

Vorwiegend stressassoziierte dissoziative Symptome treten häufig bei Patienten mit BPS auf (21). Im Vergleich zu anderen psychischen Erkrankungen kommt es jedoch bei dissoziativen Störungen wie beispielsweise der dissoziativen Identitätsstörung und anderen traumaassoziierten dissoziativen Störungen häufiger zu dem Auftreten dissoziativer Symptome, wobei Patienten mit Essstörungen, substanzgebundenen Abhängigkeitserkrankungen, psychotischen Erkrankungen und affektiven Störungen ebenfalls, aber in geringerem Ausmaß vom Auftreten dissoziativer Symptome betroffen sind (3).

Im Bereich der Traumafolgeerkrankungen wird dem Phänomen der Dissoziation insofern zunehmend Beachtung geschenkt, als dass es beispielsweise ausreichend Evidenz für das Vorliegen eines dissoziativen Subtyps der posttraumatischen Belastungsstörung gibt (22) und dieses Störungsbild in den Diagnosenkatalog des DSM-5 aufgenommen wurde (8).

Die aktuelle Studienlage hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dissoziativen Symptomen und allgemeinen kognitiven Funktionen deutet darauf hin, dass es unter dissoziativen Zuständen zu kognitiven Dysfunktionen in den Bereichen Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Exekutivfunktionen und sozialen Kognitionen kommt (23). Dieses Review bezieht sowohl Untersuchungen an gesunden Kontrollpopulationen als auch Patientengruppen anderer psychischer Erkrankungen mit ein. Bei Patienten mit BPS kommt es unter der Ausbildung von dissoziativen Symptomen zu Einschränkungen bezüglich der Exekutivfunktionen (23, 24). Patienten mit BPS zeigen eine schlechtere

Performance in den Bereichen Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis (25). Insgesamt gibt es also deutliche Hinweise darauf, dass es unter der Ausbildung von dissoziativen Symptomen zu Einschränkungen höherer kognitiver Funktionen kommt. Unserer Kenntnis nach gibt es bislang jedoch keine Studien, die Auswirkungen von dissoziativen Symptomen auf die somatosensorischen Funktionen bei Patienten mit BPS und gesunden Kontrollprobanden untersuchen, sodass die vorliegende Studie auch diesbezüglich weitere Erkenntnisse liefern kann. Dies könnte insofern relevant sein, als dass mögliche Rückschlüsse auf die Funktion der Dissoziation gezogen werden können.

1.5 Die Rubber Hand Illusion (RHI) und Untersuchungen bei psychischen Erkrankungen

Die Rubber Hand Illusion wurde 1998 von Botvinick und Cohen entwickelt (4) und stellt eine experimentelle Möglichkeit dar, ein normalerweise kohärentes Körpergefühl zu manipulieren und die Illusion zu erzeugen, dass ein künstliches Körperteil zu dem eigenen Körper gehört (4, 26, 27).

Die sogenannte multisensorische Integration wird als Erklärungsmodell für ein erfolgreiches Induzieren der Rubber Hand Illusion herangezogen (28, 29). Demnach integriert das menschliche Gehirn inkonsistente und konsistente Sinneseindrücke verschiedener Modalitäten, um ein kohärentes Erleben hinsichtlich des Selbstempfindens und der Abgrenzung zur Umwelt erreichen zu können.

Um ein erfolgreiches Induzieren der RHI zu erreichen, blickt der Proband auf eine künstliche Hand, die vor ihm platziert wird. Die Sicht auf die eigene Hand wird verdeckt und es erfolgt die synchrone Berührung der echten und der künstlichen Hand. Es kommt somit zu einer Integration des visuellen und taktilen Reizes, sodass der Proband die künstliche Hand in sein Körperempfinden integriert. Es gibt ausreichend Evidenz dafür, dass das synchrone Bestreichen der Hände zu einer höheren Illusionstiefe führt und dieser Effekt von der zeitlichen Diskrepanz abhängig ist (5, 30, 31). Außerdem

sollte das Bestreichen der Hände in gleicher Richtung erfolgen (26). Neben der Kongruenz der Berührungen spielt der räumliche Abstand der Rubber Hand zur eigenen Hand eine Rolle im Gelingen der Illusion. Die RHI kann intensiver ausgelöst werden, je näher die beiden Hände zueinander platziert sind. Ab einem Abstand von 30 cm kommt es zu einem signifikanten Nachlassen der Illusion (32). Bei den meisten Menschen kommt es zudem innerhalb der ersten 60 Sekunden des synchronen Bestreichens beider Hände zur Auslösung der Illusion (33, 34).

Zur Überprüfung einer erfolgreichen Illusion werden überwiegend zwei Maße herangezogen. Einerseits erfolgt die subjektive Einschätzung zur Integration der künstlichen Hand als eigene Hand in das Körperempfinden mittels Fragebogen und andererseits erfolgt das Erheben des propriozeptiven Drifts (4), um die Illusionstiefe auf Verhaltensebene abbilden zu können.

Funktionelle MRT-Untersuchungen konnten auf hirnpfysiologischer Ebene zeigen, dass es während der Rubber Hand Illusion vor allem zu einer gesteigerten Aktivität im ventralen prämotorischen Cortex, dem intraparietalen Cortex und dem Cerebellum kommt (34, 35). Durch funktionelle Konnektivitätsanalysen mittels NIRS konnte zudem eine Konnektivität zwischen dem frontalen Kortex und dem Motocortex festgestellt werden, sodass vermutet wird, dass gesteigerte Aktivitäten in diesen Hirnarealen eine bedeutende Rolle in der Entstehung eines „sense of ownership“ spielen (36). Eine Stimulation der rechten temporalen parietalen Verbindung (rTPJ) durch transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) bewirkt eine stärkere Illusionstiefe (37). Inhibiert man mittels repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS) kontralateral den primär motorischen Kortex (M1) wird der Effekt der RHI ebenfalls verstärkt, was nochmals die Bedeutung dieser Hirnregion in der Entstehung dieses Phänomens unterstreicht (38).

Die RHI kam bislang überwiegend bei gesunden Probanden zum Einsatz und das Experiment ist bereits vielfach modifiziert worden, um die neurophysiologischen Grundlagen dieses Phänomens besser verstehen zu können.

Ergänzend hierzu wurde die RHI unter verschiedenen psychopathologischen Bedingungen angewendet. Eine Untersuchung an Patienten mit Schizophrenie konnte zeigen, dass es im Vergleich zu Gesunden zu einer stärkeren Integration der RHI kommt (39). Darüber hinaus kam die RHI bei Patienten mit Zwangsstörung zum Einsatz. Hier konnte gezeigt werden, dass es unter synchronen Bedingungen gepaart mit einem Ekel auslösenden Reiz zu stärkeren aversiven Emotionen kommt (40). Auch bei Patienten mit Anorexia nervosa und anderen Essstörungen kann die RHI zu einer veränderten Körperwahrnehmung führen (41). Im Gegensatz zu Patienten mit Schizophrenie und Essstörungen kann die RHI bei Patienten mit Autismus-Spektrum-Störungen nur in geringerem Ausmaß ausgelöst werden (42).

Bei Patienten mit BPS erfolgte bislang eine Studie unter Anwendung der RHI, in der gezeigt werden konnte, dass Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe die künstliche Hand in stärkerem Ausmaß als ihre eigene Hand in ihr Körperempfinden integrierten und es einen Zusammenhang zu dissoziativen Symptomen gegeben hat (6).

2 Material und Methoden

2.1 Probanden und Kontrollprobanden

Die Rekrutierung von Probanden mit BPS mit und ohne posttraumatischer Belastungsstörung erfolgte von Mai 2017 bis März 2018 in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Universitätsklinikums Tübingen. Es konnten insgesamt 26 Probanden und 22 Kontrollprobanden in die Studie eingeschlossen werden.

Die Diagnostik der BPS erfolgte mittels IPDE (International Personality Disorder Examination) (43). Bei der IPDE handelt es sich um ein semistrukturiertes Interview zur Erfassung von Persönlichkeitsstörungen in Anlehnung an die Klassifikationssysteme ICD-10 und DSM-5 (8). Zur Diagnosestellung müssen mindestens fünf von neun Kriterien vollständig erfüllt sein (siehe Tabelle 1).

Zum Erheben des aktuellen Schweregrades der Erkrankung wurde die BSL-23 (Borderline Symptom Liste) verwendet (44). Die Diagnostik einer möglichen komorbid vorhandenen posttraumatischen Belastungsstörung erfolgte durch ein semistrukturiertes Interview (SCID-I) (45).

Eine bestehende psychopharmakologische Behandlung zum Zeitpunkt der Erhebungen wurde erfasst. Die Einnahme von sedierenden Medikamenten bis zwölf Stunden vor Beginn des Experiments führte zum Ausschluss des jeweiligen Probanden. Zum Ausschluss schwerwiegender körperlicher Erkrankungen erfolgte eine ausführliche internistisch-neurologische Untersuchung.

Der überwiegende Anteil der Patienten, die an der Studie teilgenommen haben, befand sich zum Zeitpunkt des Experiments in elektiv-stationärer 12-wöchiger dialektisch-behavioraler Therapie nach M. Linehan. Darüber hinaus nahmen auch Patienten aus dem ambulanten Setting teil. Die Rekrutierung dieser Patienten erfolgte über die Spezialsprechstunde für Patienten mit BPS.

Die Rekrutierung von gesunden Kontrollprobanden erfolgte ebenfalls im oben genannten Zeitraum im Großraum Tübingen durch Mailverteiler der Universität und Aushänge

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Männliche oder weibliche Probanden mit emotional instabiler Persönlichkeitsstörung vom Borderline-Typ	Schwere körperliche Erkrankungen
Mit oder ohne posttraumatischer Belastungsstörung	Akute oder chronische psychotische Erkrankung
Alter 18 – 65 Jahre	Schwere affektive Störungen
	Akute Suchterkrankungen
	Andauernde qualitative oder quantitative Bewusstseinsstörungen
	Vorliegen akuter Suizidalität
	Erkrankungen des peripheren Nervensystems (insbes. Karpaltunnelsyndrom, Polyneuropathien, Sulcus-ulnaris-Syndrom)
	Einnahme von sedierenden Medikamenten bis 12 Stunden vor Beginn des Experiments

Tabelle 2. Ein- und Ausschlusskriterien.

2.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um die Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Reize durch die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests bei Patienten mit BPS und die Veränderbarkeit eben dieser Wahrnehmung durch die Anwendung der RHI.

Die Studie wurde hierzu in zwei Telexperimenten durchgeführt.

Zum Abschluss erhielt jeder Proband eine ausführliche psychometrische Fragebogendiagnostik unter Einbeziehung demographischer Daten, dem Erfassen akuter dissoziativer Symptomatik während des *Telexperiments 2* (DSS-akut), dem Erheben chronischer dissoziativer Symptomatik (FDS-20), Erheben des Schweregrades der Symptomatik der BPS (BSL-23) , dem Erfassen von traumatischen Kindheitserfahrungen (CTQ) und dem Erheben der allgemeinen psychischen Belastung (SCL-90-R).

2.3 Telexperiment 1: Die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests

Vor Induktion der RHI erfolgte zur Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen die Durchführung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests:

Hierzu platzierte Der Proband seine rechte Hand auf einer modifizierten Computermaus, die analog zur neurologischen Vibrationsgabel nach Rydel und Seiffer (60Hz) Vibrationsreize in vier verschiedenen Intensitäten präsentieren konnte (schwach=2/8, mittel=5/8, stark=8/8 und Scheinstimulation=0/8). Die Dauer des einzelnen Vibrationsreizes betrug 0.07 Sekunden. Die Einzelreize wurden manuell etwa alle 3-4 Sekunden ausgelöst. Es erfolgte zeitgleich zu jeder Präsentation die Darbietung eines akustischen Signals, welches dem Probanden über Kopfhörer angeboten wurde, um die Scheinstimulation entsprechend verblinden zu können. Hier wurde dem Probanden also lediglich ein akustisches Signal präsentiert, welches das akustische Signal der modifizierten Computermaus imitierte. Auf die Darbietung eines Vibrationsreizes in den oben genannten Intensitäten wurde dabei allerdings verzichtet. Um an dem Experiment teilnehmen zu können, musste der Patient sicher zwischen der Scheinstimulation und der schwächsten Reizintensität unterscheiden können. Zudem musste die klinisch-neurologische Untersuchung in dem Sinne unauffällig sein, als dass keine Pallhypästhesie nachzuweisen war.

Dem Probanden wurden insgesamt hundert in der Reizintensität zufällig applizierte Reize präsentiert. Die vier Intensitäten wurden hierbei in ihrer Anzahl gleich verteilt. Der Proband wurde gebeten, die von ihm empfundene Reizintensität mit den Antworten „schwach“, „mittel“, „stark“ und „Schein“ zu bestimmen. Die Antworten wurden auf einem Antwortbogen abweichungsgenau protokolliert.

2.4 Teilexperiment 2: Der Einfluss der RHI auf die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize

In *Teilexperiment 2* erfolgte zunächst die Induktion der RHI modifiziert nach Botvinick und Cohen (4). Die Messung der Intensität der RHI erfolgte durch eine Fragebogendiagnostik und Bestimmen des propriozeptiven Drifts. Die somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen erfolgte unmittelbar nach Induktion der Rubber Hand Illusion analog zu *Teilexperiment 1*.



Abbildung 1. Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

2.4.1 Induktion der Rubber Hand Illusion

Die Induktion der Rubber Hand Illusion erfolgte modifiziert nach dem Rubber Hand-Paradigma von Botvinick und Cohen (4).

Der Proband wurde gebeten, seine rechte Hand auf der modifizierten Computermaus und hinter einer Trennwand zu platzieren, um die Sicht auf seine rechte Hand zu verwehren. Die Rubber Hand wurde in einem Abstand von 20 cm zur rechten Hand platziert. Ab einem Abstand von 30 cm kommt es zu einem signifikanten Rückgang der RHI (32). Nach erfolgreicher Platzierung der Hände erfolgte die Induktion der RHI durch zeitgleiches Bestreichen der

rechten Hand des Probanden und der Rubber Hand mittels Wattetupfer von proximal nach distal für eine Dauer von 60 Sekunden (33, 34). Die Reihenfolge des Bestreichens war vom kleinen Finger bis zum Daumen gerichtet. Der Proband wurde gebeten, seinen Blick auf die Rubber Hand und seine linke Hand zu richten. Der proximale Bereich der Rubber Hand sowie der proximale Bereich des Unterarms der linken Hand des Probanden wurden unter einem Tuch verborgen. Um den visuellen Eindruck zu komplettieren wurde unter der Rubber Hand eine nicht vibrierende, gleich aussehende Computermaus platziert.

2.4.1.1 Erheben des propriozeptiven Drifts

Um den Erfolg der Induktion der Rubber Hand Illusion auf Verhaltensebene zu überprüfen, wurde die Messung des sogenannten propriozeptiven Drifts durchgeführt. Der propriozeptive Drift beschreibt die Tendenz des Probanden die eigene Hand in der Nähe der Rubber Hand zu vermuten (6). Zudem ist der propriozeptive Drift ein implizites Messinstrument und nicht, wie bei der Intensitätsbestimmung mittels Fragebogen, abhängig von der sensorischen Suggestibilität des Probanden (46, 47). Die Ausprägung des propriozeptiven Drifts zeigt keine altersbedingten Veränderungen (48).

Der propriozeptive Drift wurde gemessen, indem der Proband mit geschlossenen Augen gebeten wurde, die Lokalisation seines rechten Mittelfingers (Indexfinger) unter dem Tisch mit seinem linken Zeigefinger zu schätzen. Der Abstand zwischen dem vermuteten Punkt und der Lokalisation des rechten Mittelfingers des Probanden wurde in cm gemessen. Die Messung erfolgte jeweils vor Induktion der RHI und nach Induktion der RHI. Die Werte vor der Induktion der Rubber Hand Illusion wurden von den Werten nach der Induktion der Rubber Hand Illusion subtrahiert. Je höher der gemessene Wert in cm, desto stärker ist die Illusion. In der Literatur ist hinsichtlich des propriozeptiven Drifts eine große Variabilität beschrieben. Die Werte variieren überwiegend zwischen 2 und 4,5 cm bei gesunden Kontrollprobanden (49-51). Es gibt keine Cut-Off-Werte bei der Bestimmung des propriozeptiven Drifts.

2.4.1.2 Erheben der Illusionstiefe

Die Illusionstiefe wurde nach erfolgter Induktion der RHI gemessen und orientierte sich ebenfalls an dem Illusionshand-Paradigma von Botvinick und Cohen (4) und den Voruntersuchungen bei Patienten mit BPS von Bekrater-Bodmann et al. (6). Dem Probanden wurden in zufälliger Reihenfolge sieben verschiedene Aussagen präsentiert. Zwei Zielitems zur Überprüfung der erfolgreichen Induktion der Illusion und fünf Distraktoren waren Inhalt des Fragebogens. Die Distraktoren erfüllten den Zweck, die Suggestibilität und Wahrnehmungen, die nicht in Verbindung mit der erfolgreichen Induktion der RHI stehen, zu prüfen. Die Probanden konnten auf einer Skala von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 10 (trifft vollkommen zu) auf die jeweilig angebotenen Aussagen antworten. Aus den Zielitems und den Distraktoren wurde der Mittelwert gebildet. Höhere Mittelwerte hinsichtlich der Zielparameter deuten auf eine erfolgreiche Induktion der RHI hin.

Item	Aussage
1	Die Illusionshand fühlte sich wie eine echte Hand an
2	Die Berührung der Illusionshand fühlte sich wie eine echte Berührung an
3	Es fühlte sich so an, als ob meine echte Hand sich unwillkürlich bewegt hätte
4	Es sah so aus, als ob die Illusionshand sich bewegt hätte
5	Es fühlte sich so an, als ob die Berührung zwischen meiner echten Hand und der Illusionshand entstanden wäre
6	Es fühlte sich so an, als ob ich mehr als zwei Hände gehabt hätte
7	Meine eigene Hand fühlte sich unecht an

Tabelle 3. Fragebogen zur Erhebung der Illusionstiefe analog zu Bekrater-Bodman et al. (2016) (6), die Zielparameter sind fettgedruckt.

2.5 Fragebogendiagnostik

Die psychometrische Diagnostik beinhaltete eine ausführliche Fragebogendiagnostik. Außerdem erfolgte das Erheben demographischer Daten wie Alter, Geschlecht und Bildungsstand. Zum Erfassen allgemeiner psychischer Symptome wurde die Symptom-Checkliste-90-R (SCL-90-R) verwendet (52). Der zum Testzeitpunkt aktuelle Schweregrad der Symptomatik der BPS wurde mittels BSL-23 (Borderline Symptom Liste) erhoben (53). Das Vorliegen einer komorbid vorhandenen posttraumatischen Belastungsstörung wurde durch das Durchführen der entsprechenden Sektion des SCID-I erhoben (45). Hierbei erfolgte keine ergänzende Fragebogendiagnostik, um den Schweregrad der Symptomatik der posttraumatischen Belastungsstörung zu quantifizieren.

Das Erfassen akuter dissoziativer Symptome erfolgte mittel DSS-akut (Dissoziations-Spannungs-Skala-akut) (54) im Anschluss an *Teilexperiment 2* nach Ausführen der RHI mit Testen der somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen. Die allgemeine Neigung zu dissoziativen Symptomen wurde mit dem Fragebogen FDS-20 (Fragebogen für dissoziative Symptome) erhoben (55). Traumatisierungen in der Kindheit und Jugend wurden retrospektiv mit dem Childhood Trauma Questionnaire (CTQ) erfasst (56).

2.5.1 Die Borderline-Symptom-Liste-23 (BSL-23)

Bei der BSL-23 (Borderline-Symptom-Liste) handelt es sich um ein Selbstbeurteilungsverfahren zum Erheben des subjektiven Schweregrades der Symptomatik der BPS. In Anlehnung an die Langversion, welche aus 95 Items besteht, wurden 23 störungsspezifische Items extrahiert. Das Testverfahren weist sich durch eine hohe interne Konsistenz (Cronbach's $\alpha = 0,94 - 0,97$) und im Vergleich zur Langversion gute bis sehr gute psychometrische Daten aus (53). Alle Items werden auf einer 5-stufigen Likert-Skala abgebildet. Der Gesamtwert bildet sich aus dem Summenwert der 23 Items dividiert durch die

Anzahl der gültigen Items. Der Gesamtwert kann zwischen 0 und 4 liegen und bezieht sich auf die Symptomausprägung der letzten 7 Tage. Durchschnittlich erreichen Patienten mit emotional-instabiler Persönlichkeitsstörung einen Wert von 2,05 (53). Andere Patientengruppen mit Achse-I-Störungen erreichen mit 1,40 einen deutlich niedrigeren Wert (53).

2.5.2 Die Dissoziations-Spannungs-Skala akut (DSS-akut)

Bei der Dissoziations-Spannungs-Skala akut (DSS-akut) handelt es sich um ein Selbstbeurteilungsverfahren zur Erfassung akuter dissoziativer Symptome (54). Die DSS-akut besteht aus insgesamt 22 Items, die auf einer 10-stufigen Likert-Skala (0-9) beantwortet werden. 10 Items beziehen sich auf psychologische Phänomene der Dissoziation, 9 Items schließen körperliche Merkmale der Dissoziation ein. Zwei Items beschreiben Borderline-spezifische Symptome und ein Item bezieht sich auf die akut als aversiv erlebte Anspannung. Die psychologischen Items beinhalten die Syndrome Depersonalisation, Derealisation, Amnesie, Absorption und pseudohalluzinatorisches Erleben (54). Die körperlichen Merkmale erfassen optisches und akustisches Erleben, Immobilität und Veränderungen der Sprachgenerierung (54). Der Test zeigt eine ausreichend hohe innere Konsistenz (Cronbachs $\alpha = 0,93$) und trennt gut zwischen diagnostischen Gruppen (54).

Aus den 22 Items wird der Summenwert gebildet. Der Gesamtwert bildet sich durch Division mit der Anzahl der gültigen Items.

2.5.3 Fragebogen zu dissoziativen Symptomen (FDS-20)

Bei dem Fragebogen zu dissoziativen Symptomen (FDS-20) handelt es sich um ein Screeninginstrument für dissoziative Störungen (55). Der FDS-20 ist die Kurzversion der deutschen Fassung der Dissociative Experience Scale (DES) (57). Der Fragebogen besteht aus 20 Items und es werden die Subskalen Amnesie, Depersonalisation/ Derealisation, Absorptionserleben und Konversion

erfragt (58). Um die Häufigkeit dissoziativer Symptome zu erfassen, können Werte zwischen 0 (nie) und 100 (immer) angegeben werden. Die Auswertung erfolgt durch Bestimmung des arithmetischen Mittels.

Mit dem FDS-20 kann die allgemeine Neigung zu dissoziativen Symptomen erfasst werden. Ab einem Cut-Off von 13 Punkten wird eine weitergehende Diagnostik hinsichtlich komplexer dissoziativer Störungen empfohlen (58).

2.5.4 Childhood Trauma Questionnaire (CTQ)

Der CTQ (Childhood Trauma Questionnaire) ist ein Selbstbeurteilungsinstrument zur retrospektiven Erhebung von Traumatisierungen in der Kindheit und Jugend (59). Der Fragebogen besteht aus insgesamt 28 Items. Es werden insgesamt fünf Subskalen (emotionaler Missbrauch, emotionale Vernachlässigung, sexueller Missbrauch, körperlicher Missbrauch und körperliche Vernachlässigung) abgefragt. Jeder Subskala werden fünf Items zugeordnet. Ergänzend werden drei Items zum Erheben der Bagatellisierungsneigung erhoben. Die Antworten werden anhand einer fünfstufigen Likert-Skala dokumentiert (56). Der Gesamtwert erfolgt erfolgt durch die Bestimmung des arithmetischen Mittels. Die Werte für jede Subskala werden ebenfalls durch Bestimmung des arithmetischen Mittels gebildet.

2.5.5 SCL-90-R

Die Symptom-Checkliste 90-revised ist ein Fragebogen, der 1977 von Derogatis entwickelt wurde, insgesamt 90 Items umfasst und Symptome aus verschiedenen Kategorien psychischer Belastungen und Erkrankungen abfragt (52, 60). Der Fragebogen bezieht sich auf einen Zeitraum von sieben Tagen und die Items werden auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 0 („überhaupt nicht“) bis 4 („sehr stark“) beantwortet.

Es werden Symptome aus neun verschiedenen Subskalen (Somatisierung, Zwanghaftigkeit, Unsicherheit im Sozialkontakt, Depressivität, Ängstlichkeit,

Aggressivität/ Feindseligkeit, Phobische Angst, paranoides Denken und Psychotizismus) erfragt.

Zudem werden drei globale Kennwerte ermittelt. Der GSI (global severity index) beschreibt die allgemeine psychische Belastung, der PSDI (positive symptom distress index) erfasst die Ausprägung und den Schweregrad der Symptomatik und der PST (positive symptom total) erhebt die Anzahl der Items mit angegebener Belastung.

Die jeweiligen Skalenwerte werden unter Berücksichtigung soziodemographischer Aspekte wie Geschlecht und Bildungsstand ermittelt, woraus sich T-Werte im Bereich von 0-80 ergeben. Höhere Werte sprechen hierbei für eine höhere psychische Belastung.

In Bezug auf die allgemeine psychische Belastung beziehungsweise das Vorhandensein schwerwiegender psychischer Erkrankungen auszuschließen, wurde der GSI (global severity index) der Kontrollgruppe ermittelt und mit dem GSI der Patienten mit BPS verglichen.

2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm JMP 14.0.0. Zunächst wurden die erhobenen Daten deskriptiv ausgewertet. Dann erfolgte die Prüfung der Daten auf Normalverteilung unter Anwendung des Shapiro-Wilk-Tests. Bei normalverteilten Daten erfolgte zur Überprüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Mittelwerten erhobener Merkmale die Anwendung des t-Tests. Bei nicht normalverteilten Daten erfolgte die Anwendung des Wilcoxon-Rangsummen-Tests. Bei normalverteilten Daten erfolgte zur Feststellung von Zusammenhängen die Anwendung der Pearson-Korrelation. Bei nicht normalverteilten Daten kam die Spearman-Korrelation zur Anwendung. Das Signifikanzniveau wurde auf 0.05 festgelegt.

3 Ergebnisse

3.1 Probanden- und Kontrollgruppe – Vergleich demographischer und psychometrischer Daten

In die Studie wurden insgesamt 26 Probanden mit BPS eingeschlossen. Bei der Hälfte der Patienten mit BPS bestand komorbid eine posttraumatische Belastungsstörung. Das durchschnittliche Alter der Probandengruppe betrug 28,88 Jahre ($SD=9.35$). Insgesamt 22 Probanden waren weiblich, 4 Probanden männlichen Geschlechts.

Die Anzahl gesunder Kontrollprobanden betrug insgesamt 22. Das durchschnittliche Alter der Kontrollgruppe betrug 25,23 Jahre ($SD=6.29$), sodass die Kontrollgruppe zwar etwas jünger war, aber hinsichtlich des Alters zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (*Wilcoxon-Rangsummen-Test*, $Z=-1.58761$, $p=0.1124$). Es nahmen insgesamt 15 weibliche und 7 männliche Kontrollprobanden an der Studie teil.

Die SCL-90-R wurde eingesetzt, um die allgemeine psychische Belastung (globaler Kennwert GSI) sowohl bei der gesunden Kontrollgruppe, als auch bei Patienten mit BPS zu bestimmen. Hier zeigte sich, dass die gesunde Kontrollgruppe nahezu frei von psychischer Belastung war ($M=0.11$, $SD=0.08$) und Patienten mit BPS ($M=1.71$, $SD=0.51$) insgesamt signifikant (*Wilcoxon-Rangsummen-Test*, $Z=-5.78120$, $p<0.001$) höhere Werte im GSI erreichten.

Auch in Bezug auf den Schweregrad der Symptomatik der BPS zeigten sich in der Kontrollgruppe keine Hinweise auf das Vorliegen einer BPS. Die Kontrollgruppe ($M=0.11$, $SD=0.10$) zeigte signifikant (*t-Test*, $t(26.68)=16.65784$, $p<0.0001$) niedrigere Werte als Patienten mit BPS ($M=2.21$, $SD=0.63$).

	Patienten mit BPS	Gesunde Kontrollprobanden
Anzahl	26	22
Alter	28.88 (9.35)	25.23 (6.29)
Männlich	4	7
Weiblich	22	15
PTSD	13	-
BSL-23	2.21 (0.63)	0.11 (0.10)
FDS-20	32.02 (14.35)	3.53 (3.52)
CTQ	2.47 (0.62)	1.20 (0.35)
SCL-90-R	1.71 (0.51)	0.11 (0.08)

Tabelle 4. Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und Patienten mit BPS hinsichtlich Geschlecht, Alter, BSL-23, FDS-20, SCL-90 und Traumatisierungen in der Kindheit.

Die Medikation der Patienten mit BPS zum Testzeitpunkt wurde erhoben. Die Hälfte der Patienten erhielt zum Testzeitpunkt eine Medikation mit Psychopharmaka. Bei den eingesetzten antidepressiv wirksamen Medikamenten handelte es sich um die Substanzen Citalopram, Sertralin, Valdoxan, Duloxetin, Bupropion, Trimipramin und Venlafaxin. Bei den antipsychotisch wirksamen Medikamenten kamen die Substanzen Quetiapin (unretardiert), Quetiapin (retardiert), Promethazin, Pipamperon und Risperidon zum Einsatz.

Art der Medikation	n
Keine Medikation	13
Medikation	13
Monotherapie Antidepressivum	5
Kombitherapie Antidepressivum	2
Monotherapie Antipsychotikum	2
Monotherapie AD und atypisches Antipsychotikum	3
Kombitherapie AD plus atypisches Antipsychotikum	1

Tabelle 5. Einsatz von Psychopharmaka bei Patienten mit BPS.

3.2 Telexperiment 1: Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe

Ziel von *Telexperiment 1* war die Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe mittels eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests. Zwischen Patienten mit BPS und der gesunden Kontrollgruppe bestand ein signifikanter Unterschied bezüglich des korrekten Erkennens von Vibrationsreizen.

In *Telexperiment 1* zeigte sich hinsichtlich der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize eine Normalverteilung der Daten. Der angewendete t-Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($t=-3.09523$, $p=0.0034$).

Und zwar konnten Patienten mit BPS über alle Intensitäten hinweg weniger Vibrationsreize korrekt identifizieren ($MD=70.46$, $SD=15.33$) als die gesunde Kontrollgruppe ($MD=81.95$, $SD=10.22$).

Die differenzierte Auswertung der richtig erkannten Einzelintensitäten hat ergeben, dass Patienten mit BPS in den Intensitäten „schwach“ ($MD=60.36$, $SD=28.89$), „mittel“ ($MD=53.41$, $SD=23.09$) und „stark“ ($MD=77.9$, $SD=17.44$) im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe (*schwach*: $MD=79.14$, $SD=20.61$, *mittel*: $MD=66.35$, $SD=14.77$, *stark*: $MD=87.45$, $SD=13.31$) eine schlechtere Performance zeigten.

Im Gegensatz zu der mittleren Reizintensität waren die Daten der Intensitäten „schwach“ und „stark“ nicht normalverteilt.

Der Unterschied erwies sich in allen Intensitäten als signifikant (*schwach*: Wilcoxon-Rangsummen-Test: $Z=2.53541$, $p=0.0112$, *mittel*: t-Test: $t=-2.34624$, $p=0.0118$, *stark*: Wilcoxon-Rangsummen-Test: $Z=2.24871$, $p=0.0245$).

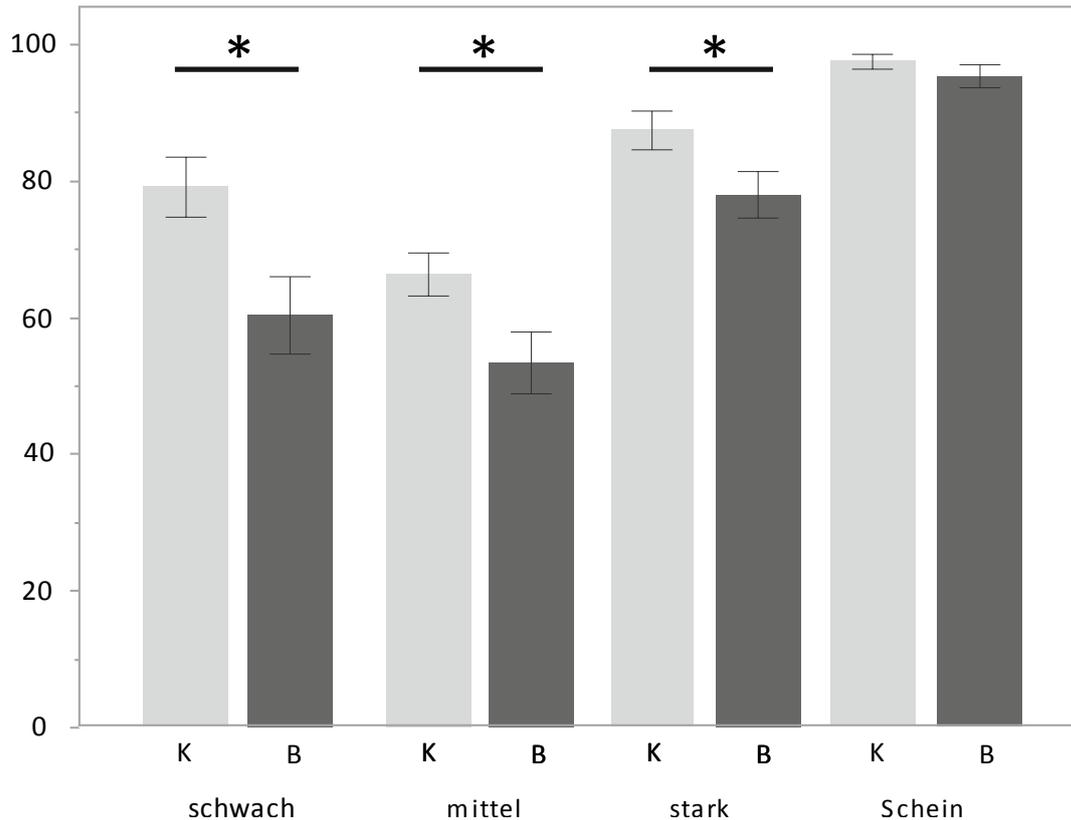


Abbildung 2. Anzahl korrekt diskriminierter taktiler Reize (in %) nach Einzelintensitäten vor Induktion der RHI im Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS.

3.3 Teilerperiment 2: Somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe unter Anwendung der Rubber Hand Illusion

In *Teilerperiment 2* erfolgte die Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize unter experimentellen Bedingungen. Zur Induktion eines dissoziativen Zustandes erfolgte zunächst die Anwendung der RHI. Im Folgenden werden die Ergebnisse von *Teilerperiment 2* in Bezug auf die Illusionstiefe und des propriozeptiven Drifts sowie die Ergebnisse zur somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Reize unter experimentellen Bedingungen dargestellt.

3.3.1 Die Intensität der Illusionstiefe und der propriozeptive Drift

Die erfolgreiche Integration der Rubber Hand in das eigene Körperempfinden wurde sowohl auf subjektiver Ebene mit einem Fragebogen als auch mit dem Bestimmen des propriozeptiven Drifts als implizites Verhaltensmaß erhoben.

Hinsichtlich der gemessenen Illusionstiefe mittels Fragebogen erreichten Patienten mit BPS ($MD=5.48$, $SD=2.95$) in Bezug auf die beiden Zielparameter höhere Werte als die gesunde Kontrollgruppe ($MD=3.55$, $SD=2.89$). Dieser Unterschied erwies sich als signifikant (*t-Test*, $F=43.3075$, $p=0.0290$).

Auch in Bezug auf die Distraktor-Parameter, die ebenfalls mittels Fragebogen erhoben wurden, erreichten Patienten mit BPS ($MD=3.59$, $SD=2.10$) höhere Werte als die gesunde Kontrollgruppe ($MD=1.42$, $SD=1.72$). Auch dieser Unterschied erwies sich als signifikant (*Wilcoxon-Rangsummen-Test*, $Z=-3.35871$, $p=0.0008$).

Der Unterschied der Differenz zwischen den Ziel- und Distraktorparametern erwies sich sowohl bei den Patienten mit BPS (*paarweise t-Test*: $t=3.83827$, $p=0.0007$) als auch bei der gesunden Kontrollgruppe als signifikant (*paarweise t-Test*: $t=3.451887$, $p=0.0025$). Insgesamt zeigten sich also in beiden Gruppen höhere Werte hinsichtlich der Zielparameter verglichen mit den Distraktorparametern, sodass in beiden Gruppen von einer erfolgreichen Induktion der Rubber Hand Illusion ausgegangen werden kann.

In Ergänzung zur Fragebogendiagnostik erfolgte die Bestimmung des propriozeptiven Drifts als Verhaltensmaß, sodass auch auf dieser Ebene eine erfolgreiche Induktion der Rubber Hand Illusion geprüft werden konnte.

Wie bereits in der Fragebogendiagnostik gezeigt wurde, war auch der propriozeptive Drift in der Gruppe der Patienten mit BPS ausgeprägter ($MD=4.81$, $SD=3.67$) nachzuweisen als bei der gesunden Kontrollgruppe ($MD=2.52$, $SD=2.75$). Auch hier konnte mittels Wilcoxon-Rangsummen-Test bei nicht normal verteilten Daten ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ($Z=-3.16097$, $p=0.0016$).

Parameter	Gesunde Kontrollen MD (SD)	Patienten mit BPS MD (SD)
Illusionstiefe Zielparameter	3.55 (2.89)	5.48 (2.95)
Illusionstiefe Distraktor-Parameter	1.42 (1.72)	3.59 (2.10)
Propriozeptiver Drift in cm	2.52 (2.75)	4.81 (3.67)

Tabelle 6. Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS in Bezug auf die Intensität der Illusionstiefe.

3.3.2 Die somatosensorische Wahrnehmung von Vibrationsreizen nach Induktion der RHI

In *Teilexperiment 2* erfolgte das Bestimmen der korrekten Identifikation der Vibrationsreize unter Anwendung der RHI.

Hierbei kam es bei den gesunden Kontrollprobanden im Vergleich zu den Ergebnissen aus *Teilexperiment 1* zu einem deutlichen und signifikanten (*Wilcoxon-Vorzeichen-Rang: S=-102.00, p=0.0002*) Rückgang in der Genauigkeit im korrekten Erkennen von Vibrationsreizen (*MD=64.68, SD=23.13*).

Patienten mit BPS hingegen konnten ihr Niveau im Erkennen von Vibrationsreizen halten (*MD=67.70, SD=13.84*), sodass hier kein signifikanter Unterschied (*Wilcoxon-Vorzeichen-Rang: S=-27.00, p=0.5035*) im korrekten Erkennen von Vibrationsreizen unter Anwendung der RHI nachzuweisen war.

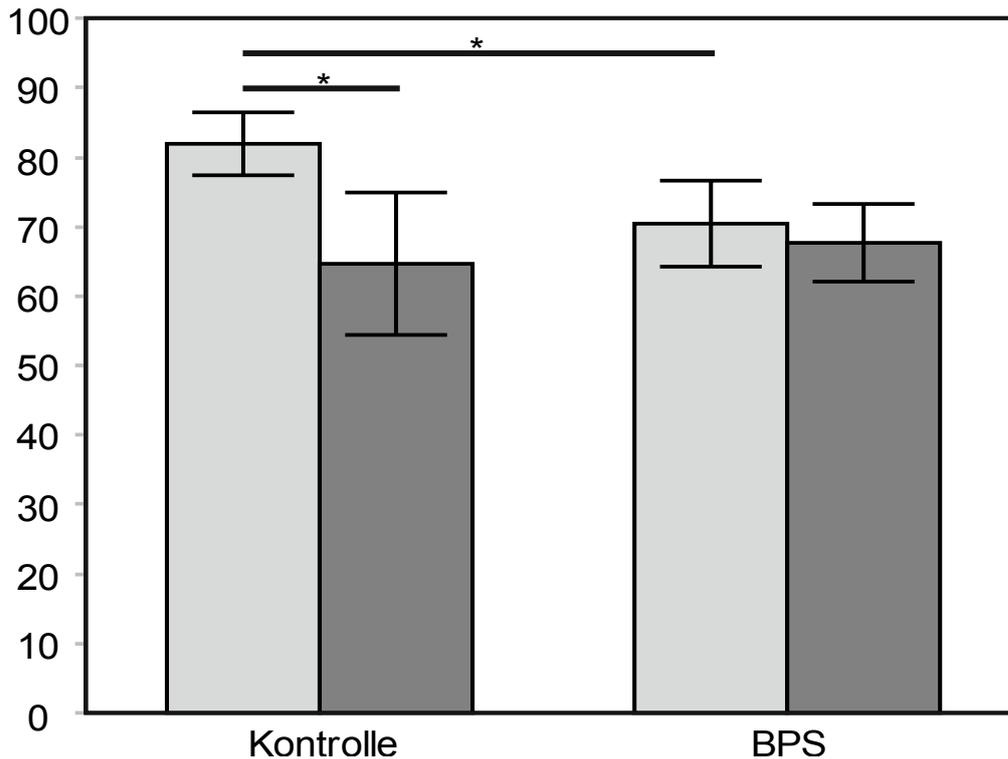


Abbildung 3. Die Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen vor und während der Durchführung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.

Die differenzierte Auswertung der Einzelintensitäten hat ergeben, dass nach Induktion der RHI in keiner der Intensitäten ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (*schwach: Wilcoxon-Rangsummen-Test: $Z=0.22766$, $p=0.8199$, mittel: t-Test: $t=0.6096$, $p=0.5454$, stark: Wilcoxon-Rangsummen-Test: $Z=0.56724$, $p=0.5705$) im Erkennen der Vibrationsreize gezeigt werden konnte (gesunde Kontrollprobanden: *schwach: MD=68.62, SD=20.51, mittel: MD=46.69, SD=25.16, stark: MD=67.12, SD=31.41; Patienten mit BPS: schwach: MD=66.07, SD=23.27, mittel: MD=50.84, SD= 21.37, stark: 67.34, SD=31.41*).*

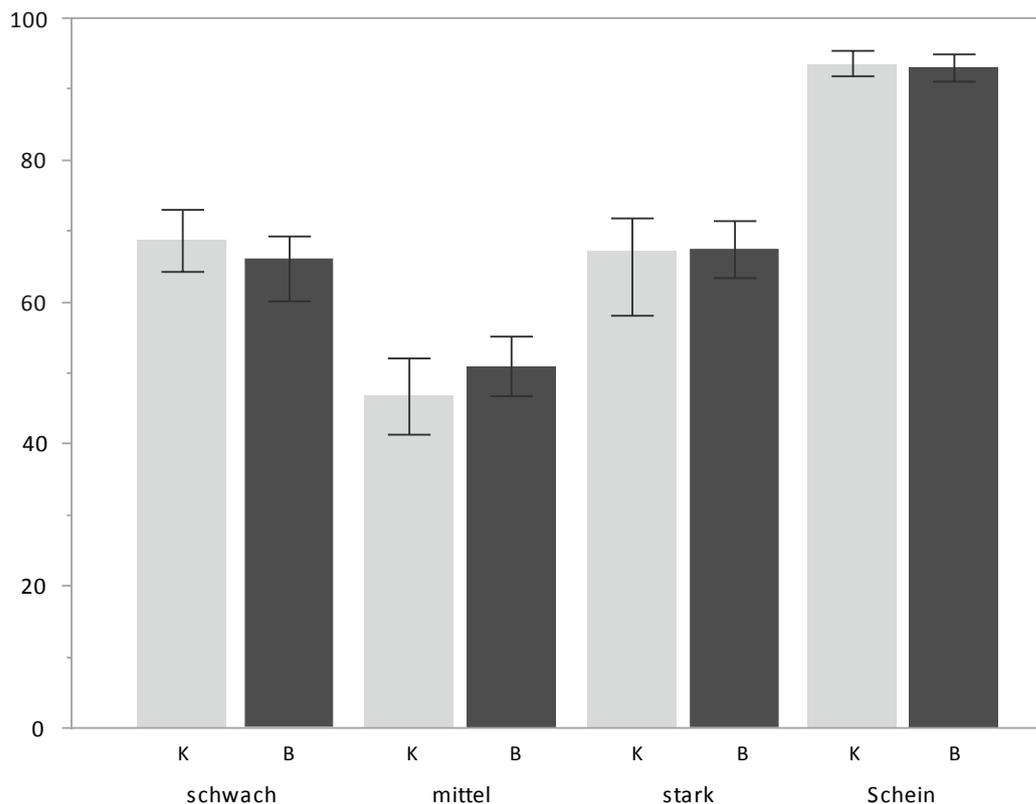


Abbildung 4. Anzahl korrekt diskriminierter taktiler Reize nach Einzelintensitäten (in %) nach Induktion der RHI im Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS.

3.3.3 Das Erkennen der Scheinstimulation vor und während Induktion der Rubber Hand Illusion und der Zusammenhang zur Illusionstiefe und psychometrischen Daten

Zum Prüfen der Suggestibilität und zum Prüfen der Fähigkeit zwischen einer tatsächlichen Stimulation zu unterscheiden erfolgte die Erhebung der korrekten Identifikation der Scheinstimulation. Bei der Scheinstimulation erfolgte lediglich die Präsentation des akustischen Signals, die Vibration über die Computermaus hingegen blieb aus.

Hierbei konnte gezeigt werden, dass beide Gruppen unter beiden Bedingungen (Erkennen der Scheinstimulation ohne RHI vs. Erkennen der Scheinstimulation

mit RHI) in der Lage waren, die echte Stimulation von der Scheinstimulation zuverlässig zu unterscheiden.

Patienten mit BPS konnten nahezu alle Scheinstimulationen als solche identifizieren (MD in $\%=95.19$, $SD=8.59$). Auch die gesunde Kontrollgruppe konnte nahezu alle Scheinstimulationen korrekt identifizieren und zeigte sich diesbezüglich der Patientengruppe leicht überlegen (MD in $\%=97.13$, $SD=4.97$). Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden (*Wilcoxon-Rangsummen-Test*, $Z=0.59345$, $p=0.5529$).

In *Teilexperiment 2* konnten Patienten mit BPS erneut nahezu alle Scheinstimulationen korrekt erkennen (MD in $\%=93.01$, $SD=9.75$), wobei es im Vergleich zu *Teilexperiment 1* zu einem leichten Rückgang im korrekten Erkennen der Scheinstimulation gekommen war. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich für die gesunde Kontrollgruppe. Die gesunden Probanden konnten auch unter Anwendung der RHI nahezu alle Scheinstimulationen korrekt identifizieren (MD in $\%=93.37$, $SD=7.62$).

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen dem Erkennen der Scheinstimulation und der erreichten Illusionstiefe sowie psychometrischer Daten dargestellt.

Bei den gesunden Kontrollprobanden konnte in Bezug auf die Scheinstimulation in *Teilexperiment 1* kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß akuter und allgemeiner dissoziativer Symptome festgestellt werden. Allerdings zeigte sich ein positiver Zusammenhang zwischen dem Erkennen der Scheinstimulation und dem Ausmaß des propriozeptiven Drifts. Dieser Zusammenhang erwies sich als signifikant (*Spearman ρ* , $r=0.2621$, $p=0.0160$). Bei Patienten mit BPS konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den eben genannten Maßen gezeigt werden (*Spearman ρ* , $r=0.1651$, $p=0.2324$).

Die durch Fragebögen gemessene Illusionstiefe zeigte sich in beiden Gruppen unabhängig vom Erkennen der Scheinstimulation.

Außerdem zeigte sich ein signifikanter und positiver Zusammenhang zwischen dem Erkennen der Scheinstimulation und dem Erkennen tatsächlicher Vibrationsreize. Dies galt sowohl für die gesunden Kontrollprobanden

(Spearman p , $r=0.2826$, $p=0.0169$), als auch für die Patienten mit BPS (Spearman p , $r=0.3928$, $p=0.0201$).

In *Teilexperiment 2* zeigte sich bei den gesunden Kontrollprobanden in Bezug auf die Fragebogendiagnostik ein negativer Zusammenhang zwischen dem Erkennen der Scheinstimulation unter Anwendung der RHI und der Ausbildung akuten (Spearman p , $r=-0.776$, $p=0.0024$) und allgemeinen dissoziativen Erlebens (Spearman p , $r=-0.3516$, $p=0.0462$) sowie den im BSL-23 (Spearman p , $r=-0.4826$, $p=0.0116$) gemessenen Werten.

Im Gegensatz hierzu konnte bei den Patienten mit BPS kein Zusammenhang zwischen dem korrekten Identifizieren der Scheinstimulation und dem dissoziativen Erleben oder dem Schweregrad der Erkrankung ausgemacht werden.

Gruppe	Erkennen der Scheinstimulation in % ohne RHI Mittelwert (SD)	Erkennen der Scheinstimulation in % mit RHI Mittelwert (SD)
Gesunde Kontrollgruppe	97.13 (4.97)	93.37 (7.62)
Patienten mit BPS	95.20 (8.59)	93.01 (9.75)

Tabelle 7. Vergleich zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS in Bezug auf das Erkennen der Scheinstimulation mit und ohne RHI.

3.3.4 Akutes dissoziatives Erleben nach Induktion der RHI, die allgemeine Dissoziationsneigung und der Zusammenhang zur Illusionstiefe, dem Erkennen von Vibrationsreizen und weiteren psychometrischen Parametern

In *Teilexperiment 2* erfolgte begleitend die Erhebung akuten dissoziativen Erlebens mittels DSS-akut.

Patienten mit BPS reagierten auf die Induktion der RHI mit stärker ausgeprägten akuten dissoziativem Erleben ($MD=4.23$, $SD=1.84$) als die

gesunde Kontrollgruppe ($MD=1.15$, $SD=1.22$). Dieser Unterschied erwies sich als signifikant (*Wilcoxon-Rangsummen-Test*, $Z=-4,76353$, $p<0.0001$).

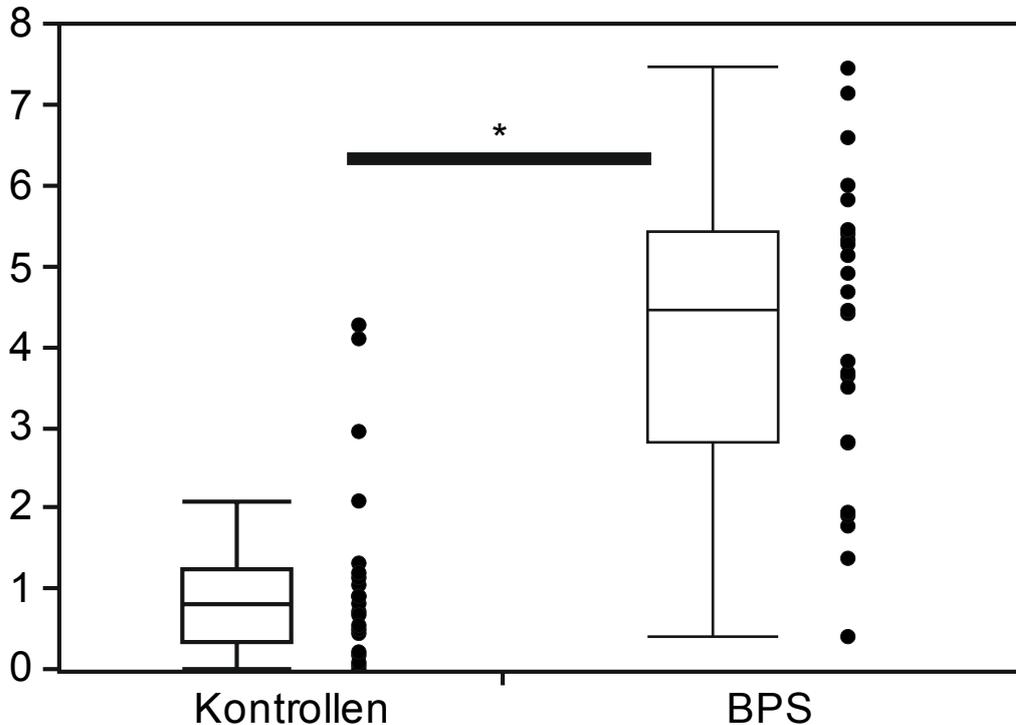


Abbildung 5. Vergleich der akuten dissoziativen Symptome während der Durchführung der Rubber Hand Illusion bei gesunden Kontrollen und Patienten mit BPS.

Die Ausprägung dissoziativen Erlebens unter der Anwendung der RHI wurde auf mögliche Zusammenhänge zur Illusionstiefe, zur korrekten Identifikation der Vibrationsreize und weiteren psychometrischen Daten (chronische dissoziative Symptome, Erkrankungsschwere, Traumatisierungen in der Kindheit) untersucht und zwischen der gesunden Kontrollgruppe und Patienten mit BPS verglichen.

Bei Patienten mit BPS konnte eine positive Korrelation zwischen dem akuten dissoziativen Erleben und der Illusionstiefe (gemessen mit Fragebogendiagnostik) festgestellt werden (*Spearman's ρ* , $r=0.5464$, $p=0.0326$).

Zudem konnte ein positiver Zusammenhang zur Erkrankungsschwere aufgezeigt werden (*Spearman's ρ , $r=0.4609$, $p=0.0458$*). Es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem propriozeptiven Drift und akutem dissoziativen Erleben festgestellt werden (*Spearman's ρ , $r=-0.1062$, $p=0.3513$*). Bei der gesunden Kontrollgruppe hingegen konnte weder zur Illusionstiefe (gemessen mit Fragebogendiagnostik) (*Spearman's ρ , $r=0.0812$, $p=0.4124$*) noch zum propriozeptiven Drift (*Spearman's ρ , $r=-0.1158$, $p=0.8240$*) ein Zusammenhang zu akutem dissoziativen Erleben hergestellt werden.

Wie oben beschrieben kam es bei der gesunden Kontrollgruppe im Rahmen der RHI zu einem signifikanten Rückgang im Erkennen von Vibrationsreizen während Patienten mit BPS ihr Fehlerniveau stabilisieren konnten.

Bei der gesunden Kontrollgruppe konnte ein signifikanter und mittelstark ausgeprägter Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines akuten dissoziativen Erlebens unter Anwendung der RHI und einer schlechteren Performance im Erkennen von Vibrationsreizen (*Spearman ρ , $r=-0.5786$, $p=0.0098$*) gezeigt werden. Diejenigen, die intensiveres dissoziatives Erleben zeigten, machten unter Anwendung der RHI also mehr Fehler im Erkennen von Vibrationsreizen. Patienten mit BPS konnten ihr Fehlerniveau unabhängig von der Intensität dissoziativen Erlebens halten. Dementsprechend und kontrastierend zu den Befunden bei der gesunden Kontrollgruppe konnte bei Patienten mit BPS in Bezug auf akute dissoziative Phänomene kein Zusammenhang mit der somatosensorischen Wahrnehmung von Vibrationsreizen nachgewiesen werden (*Spearman's ρ , $r=-0.1473$, $p=0.6306$*).

Patienten mit BPS waren insgesamt signifikant häufiger und stärker von Traumatisierungen in der Kindheit betroffen als die gesunde Kontrollgruppe (siehe oben). Diesbezüglich konnte jedoch nur bei der gesunden Kontrollgruppe ein positiver Zusammenhang zu akutem dissoziativen Erleben (*Spearman's ρ , $r=0.4153$, $p=0.0011$*) und der allgemeinen Dissoziationsneigung (*Spearman's ρ , $r=0.3854$, $p=0.0169$*) gezeigt werden.

Bei Patienten mit BPS zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß RHI-induziertem dissoziativen Erleben und Traumatisierungen in der Kindheit (Spearman's ρ , $r=0.0546$, $p=0.9869$). Auch zwischen der generellen Neigung zur Dissoziation (FDS-20) und Traumatisierungen in der Kindheit konnte kein signifikanter Zusammenhang gezeigt werden (Spearman's ρ , $r=0.0160$, $p=0.4195$).

Im Gegensatz zu Traumatisierungen in der Kindheit stand jedoch der Schweregrad der Borderline-Symptomatik sowohl mit akutem dissoziativen Erleben (Spearman's ρ , $r=0.0546$, $p=0.0458$) als auch mit der generellen Dissoziationsneigung (Spearman's ρ , $r=0.5848$, $p=0.0081$) signifikant in Zusammenhang.

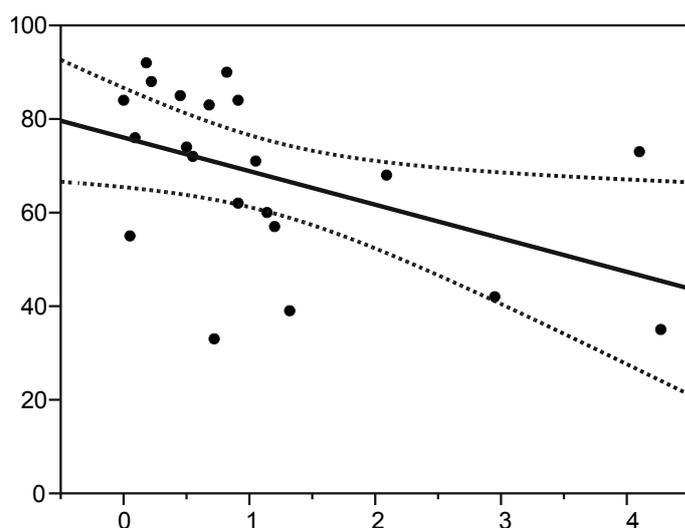


Abbildung 6. Zusammenhang zwischen dem Ausbilden von akuten dissoziativen Phänomenen und dem korrekten Erkennen von taktilen Vibrationsreizen nach Induktion der RHI bei der gesunden Kontrollgruppe.

4 Diskussion

Die vorliegende Studie verfolgte das Ziel, die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS und die Beeinflussbarkeit durch die RHI näher zu untersuchen. Diesbezüglich wurde die Hypothese formuliert, dass bei Patienten mit BPS eine verminderte somatosensorische Wahrnehmung besteht. Weiterhin war es Ziel der Studie, bereits vorliegende Ergebnisse zur Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS zu replizieren, um zeigen zu können, dass Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe in stärkerem Ausmaß zur Integration der Rubber Hand in das eigene Körperempfinden neigen und zum anderen, dass die Patientengruppe auf die Durchführung des Experiments mit intensiveren akuten dissoziativen Phänomenen reagierte.

Unter der Hypothese der Ausbildung akuten dissoziativen Erlebens unter Anwendung der RHI sollte zudem untersucht werden, in wie weit die Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize während der Manipulation der Körpergrenzen und des Selbstempfindens verändert ist. Hierbei wurde angenommen, dass es unter Ausbildung akuter RHI-induzierter dissoziativer Phänomene bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe zu einer herabgesetzten somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen kommt.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe ein Defizit hinsichtlich der somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen besteht. Die Patienten mit BPS konnten die dargebotenen Reize in allen Intensitäten signifikant schlechter identifizieren.

Die Ergebnisse zur Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS zeigten, dass es im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe sowohl hinsichtlich der Fragebogendiagnostik als auch auf behavioraler Ebene (durch Messen des propriozeptiven Drifts) zu einer stärkeren Illusionstiefe kam. Außerdem kam es

im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zu einem deutlich stärkeren Ausmaß der Entwicklung akuten dissoziativen Erlebens.

Die eingangs formulierte Hypothese zur verminderten somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen konnte also bestätigt werden.

Die Hypothese in Bezug auf die Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize unter Anwendung der RHI konnte hingegen nicht bestätigt werden. Es kam lediglich bei der gesunden Kontrollgruppe zu einer weiteren verminderten somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize. Patienten mit BPS zeigten zwar auch ein Defizit unter der RHI, konnten ihr Fehlerniveau, trotz Ausbildung akuter dissoziativer Phänomene und einer stärkeren Neigung die Rubber Hand in das eigene Körperempfinden zu integrieren, jedoch stabilisieren.

Haupt- und Nebenfunde dieser wissenschaftlichen Arbeit sollen im Folgenden unter Berücksichtigung relevanter Forschungsergebnisse differenziert diskutiert werden.

4.1 Fragebogendiagnostik

Hinsichtlich der Fragebogendiagnostik zeigten sich bei Patienten mit BPS in allen erfragten Parametern durchweg höhere Werte als bei der gesunden Kontrollgruppe.

Um die psychische Gesundheit der Kontrollgruppe auch testpsychologisch abzubilden, erfolgte die Anwendung des SCL-90-R. Hier zeigte sich, dass die gesunde Kontrollgruppe nahezu frei von psychischer Belastung, sodass das Vorliegen psychischer Erkrankungen ausgeschlossen werden kann.

Der aktuelle Schweregrad der Symptomatik der BPS wurde mit der BSL-23 erfasst. Hier erreichte die Patientengruppe mit einem Wert von 2.21 einen sehr hohen Wert, der über dem Durchschnitt (Durchschnitt 2.05) liegt, der allgemein von Patienten mit BPS erreicht wird (44, 53). Die Rekrutierung der Probanden erfolgte überwiegend aus dem stationären Behandlungssetting heraus, sodass davon ausgegangen werden kann, dass nur schwerer betroffene Patienten eingeschlossen wurden. Bei den gesunden Kontrollprobanden konnte mit

einem Wert von 0.11 auf der BSL-23 kein Hinweis auf das Vorliegen einer BPS gefunden werden. Außerdem lag dieser Wert deutlich unter dem, den Patienten mit anderen Achse-I-Störungen (Durchschnitt von 1.4 in der BSL-23) erreichen, was ebenfalls gegen das Vorliegen von Achse-I-Störungen bei der gesunden Kontrollgruppe spricht (44).

In Bezug auf das Auftreten von allgemeinen und über einen längeren Zeitraum auftretenden dissoziativen Symptomen erreichten Patienten mit BPS im Vergleich zur Kontrollgruppe ebenfalls sehr hohe Werte. Dissoziation ist ein sehr häufiges Phänomen bei dieser Erkrankung (61, 62) und es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Neigung zur Dissoziation und traumatischen Erfahrungen in der Kindheit (63). Hinsichtlich der Komorbiditäten bei der BPS gibt es Hinweise darauf, dass es häufig zu dem Auftreten verschiedener dissoziativer Störungen kommt (64, 65), sodass diesen Ergebnissen auch in der differentialdiagnostischen Einschätzung Rechnung getragen werden sollte. In der vorliegenden Studie erfolgte allerdings keine dezidierte differentialdiagnostische Abklärung dissoziativer Störungen, wie diese beispielsweise mit dem SCID-D möglich wäre (66).

Die Mehrzahl der Patienten mit BPS ist von Traumatisierungen in der Kindheit und Jugend betroffen, wobei gezeigt werden konnte, dass es insbesondere bei denen, die von emotionalem Missbrauch betroffen waren, zu einer starken Neigung zum Ausbilden dissoziativer Symptome kommt (67). In der vorliegenden Studie erfolgte keine Auswertung der Subskalen des CTQ, sodass differenzierte Aussagen in Bezug auf mögliche Zusammenhänge zwischen allgemeinen dissoziativen Symptomen und spezifischen Formen des Missbrauchs nicht möglich sind.

In der vorliegenden Studie waren nahezu alle Patienten von Traumatisierungen in der Kindheit und Jugend betroffen, wobei nur die Hälfte der Patienten unter einer posttraumatischen Belastungsstörung im Erwachsenenalter litten. Spitzer et al. (2000) konnten jedoch zeigen, dass etwa zwei Drittel der Patienten mit BPS ebenfalls an einer posttraumatischen Belastungsstörung litten (68). Bei der Patientengruppe konnte konträr zu den genannten Vorbefunden außerdem kein Zusammenhang zwischen akuten und chronischen dissoziativen Symptomen

und Traumatisierungen festgestellt werden, wobei anzumerken ist, dass es sich bei dem vorliegenden Experiment nicht um die Anwendung traumaassoziierter Reize und Dissoziation handelte. Dass ein Zusammenhang zwischen akuten und chronischen dissoziativen Symptomen und dem Schweregrad der Symptomatik der BPS bestand, untermauert, dass es bei Patienten mit BPS auch zu nicht Trauma bezogenen dissoziativen Symptomen kommt. Analog hierzu, konnte vielfach gezeigt werden, dass es bei Patienten mit BPS zu spannungsbezogenen dissoziativen Symptomen kommt (69).

4.2 Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe

Patienten mit BPS zeigten im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe eine verminderte somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen. Bislang gibt es keine Studie, welche die somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen bei Patienten mit BPS untersucht hat. Untersuchungen zur Körperwahrnehmung beziehen sich bislang überwiegend auf die Wahrnehmung von Schmerzen und es gibt vielfach Hinweise darauf, dass es bei Patienten mit BPS zu einer veränderten Schmerzwahrnehmung- und Verarbeitung kommt (15, 16, 70, 71). Andere somatosensorische Submodalitäten haben bislang wenig Beachtung gefunden. Hinsichtlich der Schmerzwahrnehmung wird überwiegend von einer nozizeptiven Hyposensitivität ausgegangen die jedoch unter emotionsregulativen und stressassozierten sozialen Bedingungen modulierbar erscheint (19, 72). Pavony und Lenzenweger (2014) untersuchten sowohl die Schmerzwahrnehmung als auch weitere Modalitäten des somatosensorischen Systems (Exzerozeption, Körperwahrnehmung) und konnten zeigen, dass es bei Patienten mit BPS zwar zu einer höheren Schmerztoleranz mit verminderter Nozizeption kam und schlussfolgerten hieraus, dass keine generelle somatosensorische Dysfunktionalität bei Patienten mit BPS nachzuweisen war (70). Ginzburg et al. (2017) untersuchten spezifisch die Schmerzwahrnehmung

bei Patienten mit BPS in Zusammenhang mit der allgemeinen Körperwahrnehmung. Hier konnte gezeigt werden, dass lediglich die Patienten von einer verminderten Schmerzwahrnehmung betroffen waren, die allgemeine Defizite in der Körperwahrnehmung zeigten (18).

Ergänzend zu den Vorbefunden zur verminderten Schmerzwahrnehmung bei BPS konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, dass auch die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei Patienten mit BPS vermindert ist. Möglicherweise besteht hier ein Zusammenhang zwischen dem somatosensorischen Defizit und erhöhter Plastizität der Körperrepräsentation bei Patienten mit BPS: bedingt durch das Merkmal der erhöhten Plastizität der Körperrepräsentation bei Patienten mit BPS kommt es zu einem somatosensorischen Defizit, was wiederum als peripher-physiologisches Korrelat der erhöhten Körperplastizität verstanden werden könnte.

Weitere Studien sind notwendig, um die neurobiologischen Grundlagen der veränderten somatosensorischen Wahrnehmung bei BPS besser verstehen zu können und zu untersuchen, ob bei Patienten mit BPS von einem generellen somatosensorischen Defizit auszugehen ist.

4.3 Die Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe

Nach unserer Kenntnis handelt es sich bei der vorliegenden Studie um die erste experimentelle Untersuchung der somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize unter Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS. Ebenso liegen nach unserer Kenntnis keine vergleichbaren Untersuchungen bei gesunden Kontrollprobanden oder Patienten mit anderen psychischen Erkrankungen vor. Bisher gibt es nur wenige Studien, welche die Anwendung der RHI bei psychischen Erkrankungen untersuchen und hinsichtlich der Tiefe der erreichten Illusion in Abhängigkeit der Erkrankungen zu verschiedenen Ergebnissen gekommen sind (siehe Kap. Einleitung).

Eine dieser Studien umfasst die Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS. Hier konnte gezeigt werden, dass Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe und remittierten Patienten eine stärkere Illusionstiefe erreichen und eine Korrelation zu akuten und allgemeinen dissoziativen Symptomen bestand (6). Die vorliegende Studie konnte die Ergebnisse hinsichtlich der erreichten Illusionstiefe, gemessen durch Fragebogendiagnostik und Erheben des propriozeptiven Drifts, replizieren. In der vorliegenden Studie zeigte sich auf Verhaltensebene (Messen des propriozeptiven Drifts) ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, der in der Studie von Bekrater-Bodman et al. nicht nachgewiesen werden konnte. Bezüglich der Ausbildung dissoziativen Erlebens kam es analog zur Vergleichsstudie ebenfalls zu stärker ausgeprägtem dissoziativen Erleben bei Patienten mit BPS, allerdings zeigte sich lediglich in der Patientengruppe ein positiver Zusammenhang zwischen diesen Phänomenen und der gemessenen Illusionstiefe bei Anwendung der RHI.

Die Anwendung der RHI sowohl bei Patienten verschiedener Erkrankungsgruppen als auch gesunden Kontrollgruppen kann unter verschiedenen Bedingungen erfolgen. In vielen Studien erfolgte das beispielsweise das Bestreichen der Hände unter kongruenten und inkongruenten Bedingungen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Induktion der RHI unter kongruenten Bedingungen intensiver ist (73), sodass in der vorliegenden Studie auf die Anwendung unter inkongruenten Bedingungen verzichtet wurde, um stärkere Effekte erreichen zu können.

Bislang gilt die sogenannte „multisensorische Integration“ als eine gängige Erklärung für eine erfolgreiche Induktion der RHI (28). Yeh et al. untersuchten zudem, inwiefern auch höhere kognitive Funktion wie beispielsweise Aufmerksamkeitsprozesse die Stärke der RHI beeinflussen können und stellten fest, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der erreichten Illusionstiefe und der Fähigkeit die Aufmerksamkeit von einem Fokus auf einen anderen zu verlagern (als Marker für kognitive Flexibilität) bestand (5). Es gibt viele Hinweise darauf, dass es bei Patienten mit BPS jedoch zu neurokognitiven Defiziten in verschiedenen Bereichen kommt, die auch die

Aufmerksamkeit und kognitive Flexibilität betreffen (74-76). Unsere Studie zeigte, dass die RHI bei Patienten mit BPS stärker ausgelöst werden konnte als bei gesunden Kontrollprobanden. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse zur RHI und höheren kognitiven Funktionen kann vermutet werden, dass es insbesondere bei Patienten mit BPS darüber hinaus weitere Mechanismen gibt, die die Intensität der RHI beeinflussen, sodass auch hier weitere Forschung notwendig ist.

Beispielsweise wurde der Zusammenhang von Interozeption und der Intensität der RHI bereits untersucht, wobei festgestellt wurde, dass eine geringe interozeptive Sensitivität mit einer stärkeren Integration der Rubber Hand in das Körperempfinden einherging (77). Suzuki et al. (2013) untersuchten ebenfalls den Zusammenhang von intero- und exterozeptiven Signalen während der RHI und konnten hingegen zeigen, dass es durch ein kardiovisuelles Feedback (zu verstehen als gesteigerte Interozeption) zu einer intensivierten RHI kommt (78), sodass hinsichtlich der Beeinflussung der RHI durch interozeptive Prozesse bislang widersprüchliche Ergebnisse gibt und weitere Untersuchungen notwendig sind, um den Einfluss von Interozeption auf die RHI näher zu untersuchen.

Bislang gibt es nur wenige Studien, die das Konzept der Interozeption bei BPS untersuchen. Müller et al. untersuchten die kortikale Verarbeitung von afferenten Signalen bei BPS und stellten fest, dass es im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden bei Patienten mit BPS zu Defiziten in der Verarbeitung von afferenten Körpersignalen kommt und dies negativ mit der Emotionsregulation korrelierte (79). Diese Ergebnisse lassen jedoch noch keinen direkten Rückschluss auf Fähigkeiten zur Interozeption bei BPS zu. Bezieht man die Fähigkeiten zur Wahrnehmung und Beschreibung von Emotionen in das Konzept der Interozeption mit ein, so gibt es dahingehend Hinweise auf eine gestörte interozeptive Sensitivität bei BPS, also dass Emotionen nicht angemessen wahrgenommen und beschrieben werden können (80). Eine Studie zu Alexithymie konnte zeigen, dass es einen negativen Zusammenhang zwischen Symptomen der Alexithymie und der interozeptiven Sensitivität gab (81). Auch bei Patienten mit BPS kommt es

häufig zu dem Auftreten affektiver Symptome im Sinne einer Alexithymie (82), sodass vermutet werden kann, dass auch bei Patienten mit BPS eine verminderte interozeptive Sensitivität besteht.

Auch hier sind weitere Studien notwendig, um den Zusammenhang von Interozeption und der RHI näher zu untersuchen und zu klären, in wie eine verminderte Fähigkeit zur Interozeption zu einer stärkeren Intensität der RHI bei Patienten mit BPS führt.

Bei der Untersuchung von „Embodiment“ und „Sense of ownership“ sollten zudem möglicherweise beteiligte kortikale Hirnregionen berücksichtigt werden, um insbesondere die Frage zu klären, ob es sich gerade bei Patienten mit BPS um veränderte Top-Down-Prozesse oder in der Peripherie entstehende gestörte Bottom-Up-Prozesse handelt, die jeweils die erhöhte Neigung zur Integration der Rubber Hand begünstigen. In diesem Zusammenhang wurde die Aktivität des primär motorischen Kortex (M1) gemessen und es konnte gezeigt werden, dass es zu einem verstärkten „sense of ownership“ kam, wenn die kontralaterale Seite durch repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS) inhibiert wurde (38). Ergänzend hierzu konnte gezeigt werden, dass die Stimulation der rechten temporoparietalen Verbindung (rTPJ) durch transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) eine Verstärkung des propriozeptiven Drifts bewirkte (37). Möglicherweise besteht bei Patienten mit BPS in diesen Arealen, die an der Entstehung eines „sense of ownership“ beteiligt sind, eine veränderte Hirnaktivität. Dies gewinnt insbesondere dadurch an Bedeutung, als dass die Funktion der rTPJ in Zusammenhang mit „Theory of Mind“ und dem Treffen sozialer Entscheidungen gesehen wird (83-85). Bei Patienten mit BPS ist vielfach bekannt, dass es zu erheblichen zwischenmenschlichen Schwierigkeiten kommt (86, 87). Weitere Forschung ist notwendig, um die neurophysiologischen Grundlagen bei Patienten mit BPS zu verstehen. Insgesamt kann jedoch auf der Basis der genannten Befunde vermutet werden, dass einer Integration der Rubber Hand eher veränderte Top-Down als Bottom-Up-Prozesse zugrunde liegen.

4.4 Die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize unter Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe

Bislang liegen keine Studien zur somatosensorischen Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize während der Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS oder gesunden Kontrollprobanden vor. Die vorliegende Studie ist die erste wissenschaftliche Auseinandersetzung, die sich mit diesem Thema befasst, sodass die Ergebnisse nicht mit bereits vorhandenen Ergebnissen zu diesem Thema verglichen werden können.

Die eingangs formulierte Hypothese war, dass es unter Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe zu einem herabgesetzten Vibrationsempfinden kommt.

Konträr zu dieser Hypothese zum Erkennen von Vibrationsreizen unter Anwendung der RHI bei Patienten mit BPS war Hauptbefund der vorliegenden Studie, dass sich die somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen unter Anwendung der RHI lediglich bei der gesunden Kontrollgruppe weiter signifikant verändert: mit steigendem Ausmaß RHI-induzierter dissoziativer Phänomene kam es zu einer in allen Reizintensitäten signifikant verschlechterten somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen bei der gesunden Kontrollgruppe im Vergleich zur Wahrnehmung von Vibrationsreizen ohne Anwendung der RHI. Patienten mit BPS hingegen konnten ihre Fehlerhäufigkeit im Erkennen von taktilen Vibrationsreizen unabhängig von der Ausbildung dissoziativer Symptome stabilisieren. Unter Berücksichtigung der Hypothese der multisensorischen Integration kann vermutet werden, dass es bei der gesunden Kontrollgruppe zu einer multisensorischen Integration der Rubber Hand kommt und die eigene Hand des Probanden „multisensorisch desintegriert“ wird. Diese „multisensorische Desintegration“ könnte das Resultat der Plastizität der Körperrepräsentation sein. Dies könnte die Verschlechterung in Bezug auf die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Vibrationsreize bei der gesunden Kontrollgruppe erklären. Bei Patienten mit BPS hingegen kommt es zwar ebenfalls zu einer multisensorischen Desintegration, dieser Effekt kommt aber

aufgrund der per se bestehenden erhöhten Plastizität der Körperrepräsentationen und der damit einhergehenden geringeren Wahrnehmung von Reizen im Sinne eines Floor-Effekts nicht mehr zur Geltung. Dissoziation ist ein häufiges Phänomen bei Patienten mit BPS und geht oft mit traumatischen Erfahrungen in der Kindheit und Jugend einher (88, 89). Es sind keine Studien bekannt, welche die Auswirkungen von dissoziativen Symptomen auf die Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen oder anderen sensorischen Reizen untersuchen. Bislang gibt es auch nur wenige Untersuchungen, die neurokognitive Funktionen unter Dissoziation untersuchen. Haaland et al. (2009) untersuchten die Auswirkungen dissoziativen Erlebens auf verschiedene neuropsychologische Domänen, wie beispielsweise Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe und stellten fest, dass es unter starker Dissoziation zu Beeinträchtigungen in allen neuropsychologischen Domänen gekommen war (25). Auch Bruce et al. (2007) zeigten, dass es durch Dissoziation zu beeinträchtigten Exekutivfunktionen bei Patienten mit BPS kam (24). In der vorliegenden Studie hingegen konnte gezeigt werden, dass es bei Patienten mit BPS unter Auslösen eines nicht Trauma-assoziierten dissoziativen Zustandes nicht zu einer weiteren herabgesetzten Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen kam. Möglicherweise werden höhere kognitive Funktionen durch Dissoziation beeinträchtigt, basale sensorische Perzeptionen hingegen bleiben bei Patienten mit BPS, die an die Ausbildung dissoziativer Symptome im Sinne einer Aufrechterhaltung basalen Funktionierens habituiert sind, erhalten. Gesunde Menschen hingegen sind nicht an die Ausbildung dissoziativer Symptome gewöhnt und haben infolge dessen möglicherweise keine Kompensationsmechanismen zur Verfügung. Hier sind weitere Studien notwendig, um die neurobiologischen Grundlagen der Dissoziation und mögliche Kompensationsmechanismen besser verstehen zu können.

4.5 Limitationen der vorliegenden Studie

Im Folgenden sollen methodische Schwächen hinsichtlich des Studiendesigns und der Durchführung kritisch diskutiert werden.

In Bezug auf die Diagnostik der Patienten und der gesunden Kontrollgruppe ist in der vorliegenden Studie auf eine operationalisierte Diagnostik mittel semi-strukturierter Interviews wie beispielsweise dem SCID-I verzichtet worden, sodass das Vorliegen von Komorbiditäten nicht quantitativ und qualitativ beurteilt werden und somit mögliche Einflüsse von nicht erhobenen Nebendiagnosen in der Beurteilung der Ergebnisse nicht berücksichtigt werden konnten.

Ein weiterer methodischer Kritikpunkt betrifft das Erheben der dissoziativen Symptomatik. In der vorliegenden Studie erfolgte die Erhebung der akuten dissoziativen Symptomatik lediglich zu einem Testzeitpunkt, sodass eine Änderung der akuten dissoziativen Symptomatik zwischen den beiden Telexperimenten nicht erhoben werden konnte. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass Patienten mit BPS bereits vor Anwendung der RHI in einem dissoziativen Zustand gewesen sind, wobei vor Beginn des Experiments erfragt wurde, ob die Probanden sich in einer entspannten Verfassung befanden. Weiterhin konnten so keine Zusammenhänge zwischen der akuten dissoziativen Symptomatik und dem Erkennen von Vibrationsreizen ohne Anwendung der RHI ermittelt werden.

Es erfolgte die Erhebung der Psychopharmakotherapie der Patienten mit BPS. Die Hälfte der Patienten erhielt zum Zeitpunkt des Experiments eine Psychopharmakotherapie mit antidepressiven und/ oder antipsychotischen Medikamenten. Nur die Hälfte der Probanden war zum Zeitpunkt des Experiments unmediziert. Die Auswirkungen einer medikamentösen Therapie auf die somatosensorische Wahrnehmung taktiler Reize einerseits und die Intensität der RHI andererseits können nicht sicher bestimmt werden

Weiterhin wurde kein Fragebogen verwendet, um die Desintegration der eigenen, verborgenen Hand während der Durchführung der RHI zu erheben. Es erfolgte lediglich das subjektive Einschätzen der Illusionstiefe mit einem

Fragebogen, der sich auf die Integration der Rubber Hand in das eigene Körperbefinden bezieht.

5 Schlussfolgerungen und Implikationen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen die Schlussfolgerung zu, dass es bei Patienten mit BPS, neben einer veränderten Wahrnehmung und Prozessierung von Schmerzen, zu einem somatosensorischen Defizit im Bereich der taktilen Wahrnehmung kommt. Auch andere somatosensorische Submodalitäten sollten bei dieser Patientengruppe untersucht werden, um die Frage zu klären, ob ein generalisiertes somatosensorisches Defizit besteht. Die zugrundeliegenden Mechanismen (Top-Down vs. Bottom-Up-Prozesse) sollten durch die Anwendung geeigneter wissenschaftlicher Methoden (beispielsweise die Ableitung von sensorisch evozierten Potenzialen und funktioneller bildgebender Verfahren) näher untersucht werden.

Aufgrund der stärkeren Induzierbarkeit der Rubber Hand Illusion kann zudem auf eine erhöhte Plastizität der Körperrepräsentationen im Bereich des somatosensorischen Kortex geschlossen werden. Das bestehende somatosensorische Defizit könnte also eine Folge der erhöhten Plastizität der Körperrepräsentationen sein, wobei weitere Studien notwendig sind, um einerseits die erhöhte Plastizität auf Verhaltens- und hirnfunktioneller Ebene zu untersuchen. Das Ausmaß der Plastizität der Körperrepräsentationen kann bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe in einer Folgestudie beispielsweise dadurch untersucht werden, in dem geprüft wird, ob das Ausmaß der Rubber Hand Illusion mit dem räumlichen Abstand der beiden Hände zueinander zusammenhängt. Weiterhin liegt im Hinblick auf das diagnostische Kriterium der Instabilität des Selbstbildes und Identitätsstörung bei Patienten mit BPS die Frage nahe, inwieweit das körperliche Selbsterleben die Ausbildung eines „mentalenen Selbst“ determiniert, um überlegen zu können, inwieweit körperbezogene (psycho-)therapeutische Interventionen entwickelt

werden sollten, um einen positiven Einfluss auf das Selbstbild von Patienten mit BPS haben zu können.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte die somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen und ihre Beeinflussbarkeit durch die RHI bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.

Es sollte untersucht werden, ob Patienten mit BPS eine verminderte somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen aufweisen sowie die RHI intensiver erleben als gesunde Kontrollprobanden und ob es während der Anwendung der RHI zu akuten dissoziativen Symptomen kommt. Zudem sollte der Einfluss dieser RHI-induzierten dissoziativen Symptome auf die somatosensorische Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen fokussiert betrachtet werden. Die Hypothese war, dass es unter RHI-induzierten dissoziativen Phänomenen zu einer verminderten Fähigkeit im Erkennen von taktilen Vibrationsreizen bei Patienten mit BPS im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe kommt.

Zunächst (*Teilexperiment 1*) erfolgte die Prüfung der somatosensorischen Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen durch die Anwendung eines taktilen Reiz-Diskriminations-Tests. Hierzu wurden den Probanden einhundert zufällig applizierte Vibrationsreize in vier verschiedenen Intensitäten (schwach, mittel, stark und Scheinstimulation) über eine vibrierende Computermaus präsentiert. In *Teilexperiment 2* erfolgte die Prüfung der Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen an der eigenen Hand unter Anwendung der RHI.

Die Intensität der RHI wurde sowohl mit einem Fragebogen als auch mit Messen des propriozeptiven Drifts bestimmt. Ergänzend erfolgte das Erheben psychometrischer Daten hinsichtlich des Ausbildens dissoziativer Phänomene, der Erkrankungsschwere und Traumatisierungen in der Kindheit und Jugend. Unterschiede bezüglich der verschiedenen Parameter wurden statistisch ausgewertet und Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern wurden statistisch untersucht.

Hinsichtlich der Wahrnehmung von Vibrationsreizen konnte gezeigt werden, dass Patienten mit BPS hinsichtlich des taktilen Vibrationsempfindens ein

somatosensorisches Defizit zeigen, was bislang noch nicht beschrieben wurde. Patienten mit BPS erleben die RHI zudem intensiver als gesunde Kontrollprobanden und es kam, im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe, unter Anwendung der RHI, zu stärkeren akuten dissoziativen Phänomenen bei Patienten mit BPS. Allerdings konnten Patienten mit BPS trotz stärkerer Ausbildung RHI-induzierter dissoziativer Symptome die Rate korrekt erkannter Vibrationsreize stabilisieren, wohingegen gesunde Kontrollprobanden unter RHI-induzierten dissoziativen Phänomenen mehr Fehler im Erkennen von Vibrationsreizen machten als in *Teilexperiment 1*. Interessanterweise konnte nur bei der gesunden Kontrollgruppe ein Zusammenhang zwischen akutem dissoziativen Erleben und dem Erkennen von Vibrationsreizen gezeigt werden. Bei Patienten mit BPS konnte trotz stärker ausgeprägter dissoziativer Symptomatik kein Zusammenhang gezeigt werden.

Die Ergebnisse dieser Studie wurden unter Berücksichtigung von Vorbefunden diskutiert. Bereits bestehende Hypothesen zur suffizienten Induktion der RHI wurden zur Interpretation der Befunde zur Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen herangezogen. Außerdem wurden Vorbefunde zu neurokognitiven Funktionsprüfungen unter Dissoziation mit einbezogen.

Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit sind, dass Patienten mit BPS ein somatosensorisches Defizit hinsichtlich der Wahrnehmung von taktilen Vibrationsreizen aufweisen sowie, aufgrund einer per se erhöhten Plastizität der Körperrepräsentationen, die RHI intensiver erleben als gesunde Kontrollprobanden und die somatosensorische Wahrnehmung von Vibrationsreizen nur bei der gesunden Kontrollgruppe durch RHI weiter beeinträchtigt ist. Zudem kommt es unter der RHI zu nicht Trauma-assoziierten dissoziativen Symptomen, die sich nur bei der gesunden Kontrollgruppe negativ auf die Wahrnehmung von Vibrationsreizen auswirken. Weitere Studien sind notwendig, um die Ergebnisse auf neurobiologischer Ebene erklären zu können.

7 Literaturverzeichnis

1. Kienast T, Stoffers J, BERPpohl F, Lieb K. Borderline personality disorder and comorbid addiction: epidemiology and treatment. *Dtsch Arztebl Int*. 2014;111:280-286.
2. Bohus M, Schmahl C. Psychopathologie und Therapie der Borderline-Persönlichkeitsstörung. *Deutsches Ärzteblatt*. 2006;103(3345-3352).
3. Lyssenko L, Schmahl C, Bockhacker L, Vonderlin R, Bohus M, Kleindienst N. Dissociation in Psychiatric Disorders: A Meta-Analysis of Studies Using the Dissociative Experiences Scale. *Am J Psychiatry*. 2018;175:37-46.
4. Botvinick M, Cohen J. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*. 1998;391:756.
5. Yeh SL, Lane TJ, Chang AY, Chien SE. Switching to the Rubber Hand. *Front Psychol*. 2017;8:2172.
6. Bekrater-Bodmann R, Chung BY, Foell J, Gescher DM, Bohus M, Flor H. Body plasticity in borderline personality disorder: A link to dissociation. *Compr Psychiatry*. 2016;69:36-44.
7. Harned MS, Wilks CR, Schmidt SC, Coyle TN. Improving functional outcomes in women with borderline personality disorder and PTSD by changing PTSD severity and post-traumatic cognitions. *Behav Res Ther*. 2018;103:53-61.
8. American Psychiatric Association: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. Arlington VA2013.
9. Lenzenweger MF, Lane MC, Loranger AW, Kessler RC. DSM-IV personality disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Biol Psychiatry*. 2007;62:553-564.
10. Crowell SE, Beauchaine TP, Linehan MM. A biosocial developmental model of borderline personality: Elaborating and extending Linehan's theory. *Psychol Bull*. 2009;135:495-510.
11. de Aquino Ferreira LF, Queiroz Pereira FH, Neri Benevides AML, Aguiar Melo MC. Borderline personality disorder and sexual abuse: A systematic review. *Psychiatry Res*. 2018;262:70-77.
12. Soloff PH, Chiappetta L. 10-Year Outcome of Suicidal Behavior in Borderline Personality Disorder. *J Pers Disord*. 2018:1-19.
13. Choi-Kain LW, Finch EF, Masland SR, Jenkins JA, Unruh BT. What Works in the Treatment of Borderline Personality Disorder. *Curr Behav Neurosci Rep*. 2017;4:21-30.
14. Hancock-Johnson E, Griffiths C, Picchioni M. A Focused Systematic Review of Pharmacological Treatment for Borderline Personality Disorder. *CNS Drugs*. 2017;31:345-356.
15. Bekrater-Bodmann R, Chung BY, Richter I, Wicking M, Foell J, Mancke F, Schmahl C, Flor H. Deficits in pain perception in borderline personality disorder: results from the thermal grill illusion. *Pain*. 2015;156:2084-2092.
16. Ludascher P, von Kalckreuth C, Parzer P, Kaess M, Resch F, Bohus M, Schmahl C, Brunner R. Pain perception in female adolescents with borderline personality disorder. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2015;24:351-357.

17. Schmahl C, Baumgartner U. Pain in Borderline Personality Disorder. *Mod Trends Pharmacopsychiatry*. 2015;30:166-175.
18. Ginzburg K, Biran I, Aryeh IG, Tsur N, Defrin R. Pain Perception and Body Awareness Among Individuals With Borderline Personality Disorder. *J Pers Disord*. 2017;1-18.
19. Ludascher P, Bohus M, Lieb K, Philipsen A, Jochims A, Schmahl C. Elevated pain thresholds correlate with dissociation and aversive arousal in patients with borderline personality disorder. *Psychiatry Res*. 2007;149:291-296.
20. Pavony MT, Lenzenweger MF. Somatosensory processing and borderline personality disorder features: a signal detection analysis of proprioception and exteroceptive sensitivity. *J Pers Disord*. 2013;27:208-221.
21. Scalabrini A, Cavicchioli M, Fossati A, Maffei C. The extent of dissociation in borderline personality disorder: A meta-analytic review. *J Trauma Dissociation*. 2016;1-22.
22. Lanius RA, Brand B, Vermetten E, Frewen PA, Spiegel D. The dissociative subtype of posttraumatic stress disorder: rationale, clinical and neurobiological evidence, and implications. *Depress Anxiety*. 2012;29:701-708.
23. McKinnon MC, Boyd JE, Frewen PA, Lanius UF, Jetly R, Richardson JD, Lanius RA. A review of the relation between dissociation, memory, executive functioning and social cognition in military members and civilians with neuropsychiatric conditions. *Neuropsychologia*. 2016;90:210-234.
24. Bruce AS, Ray WJ, Bruce JM, Arnett PA, Carlson RA. The relationship between executive functioning and dissociation. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2007;29:626-633.
25. Haaland VO, Landro NI. Pathological dissociation and neuropsychological functioning in borderline personality disorder. *Acta Psychiatr Scand*. 2009;119:383-392.
26. Costantini M, Haggard P. The rubber hand illusion: sensitivity and reference frame for body ownership. *Conscious Cogn*. 2007;16:229-240.
27. Palomo P, Borrego A, Cebolla A, Llorens R, Demarzo M, Banos RM. Subjective, behavioral, and physiological responses to the rubber hand illusion do not vary with age in the adult phase. *Conscious Cogn*. 2018;58:90-96.
28. Makin TR, Holmes NP, Ehrsson HH. On the other hand: dummy hands and peripersonal space. *Behav Brain Res*. 2008;191:1-10.
29. Kallai J, Kincses P, Labadi B, Dorn K, Szolcsanyi T, Darnai G, Hupuczi E, Janszky J, Csatho A. Multisensory integration and age-dependent sensitivity to body representation modification induced by the rubber hand illusion. *Cogn Process*. 2017;18:349-357.
30. Shimada S, Fukuda K, Hiraki K. Rubber hand illusion under delayed visual feedback. *PLoS One*. 2009;4:e6185.
31. Ward J, Mensah A, Junemann K. The rubber hand illusion depends on the tactile congruency of the observed and felt touch. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2015;41:1203-1208.
32. Lloyd DM. Spatial limits on referred touch to an alien limb may reflect boundaries of visuo-tactile peripersonal space surrounding the hand. *Brain Cogn*. 2007;64:104-109.
33. Kalckert A, Ehrsson HH. The Onset Time of the Ownership Sensation in the Moving Rubber Hand Illusion. *Front Psychol*. 2017;8:344.

34. Ehrsson HH, Spence C, Passingham RE. That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*. 2004;305:875-877.
35. Ehrsson HH, Holmes NP, Passingham RE. Touching a rubber hand: feeling of body ownership is associated with activity in multisensory brain areas. *J Neurosci*. 2005;25:10564-10573.
36. Arizono N, Ohmura Y, Yano S, Kondo T. Functional Connectivity Analysis of NIRS Data under Rubber Hand Illusion to Find a Biomarker of Sense of Ownership. *Neural Plast*. 2016;2016:6726238.
37. Convento S, Romano D, Maravita A, Bolognini N. Roles of the right temporoparietal and premotor cortices in self-location and body ownership. *Eur J Neurosci*. 2018;47:1289-1302.
38. Fossataro C, Bruno V, Giurgola S, Bolognini N, Garbarini F. Losing my hand. Body ownership attenuation after virtual lesion of the primary motor cortex. *Eur J Neurosci*. 2018.
39. Mirucka B. The sense of body ownership in schizophrenia: research in the rubber hand illusion paradigm. *Psychiatr Pol*. 2016;50:731-740.
40. Jalal B, Krishnakumar D, Ramachandran VS. "I Feel Contaminated in My Fake Hand": Obsessive-Compulsive-Disorder like Disgust Sensations Arise from Dummy during Rubber Hand Illusion. *PLoS One*. 2015;10:e0139159.
41. Keizer A, Smeets MA, Postma A, van Elburg A, Dijkerman HC. Does the experience of ownership over a rubber hand change body size perception in anorexia nervosa patients? *Neuropsychologia*. 2014;62:26-37.
42. Palmer CJ, Paton B, Hohwy J, Enticott PG. Movement under uncertainty: the effects of the rubber-hand illusion vary along the nonclinical autism spectrum. *Neuropsychologia*. 2013;51:1942-1951.
43. Haider, II, Bukharie F, Hamid F, Ayub M, Irfan M, Naeem F. Reliability of the ICD-10 International Personality Disorder Examination (Urdu Translation): A preliminary study. *Pak J Med Sci*. 2014;30:1372-1376.
44. Bohus M, Limberger MF, Frank U, Chapman AL, Kuhler T, Stieglitz RD. Psychometric properties of the Borderline Symptom List (BSL). *Psychopathology*. 2007;40:126-132.
45. Hans-Ulrich Wittchen MZ, Thomas Fydrich: SKID, Strukturiertes klinisches Interview für DSM-IV. Göttingen, Hogrefe; 1997.
46. Marotta A, Tinazzi M, Cavedini C, Zampini M, Fiorio M. Individual Differences in the Rubber Hand Illusion Are Related to Sensory Suggestibility. *PLoS One*. 2016;11:e0168489.
47. Haans A, Kaiser FG, Bouwhuis DG, Ijsselstein WA. Individual differences in the rubber-hand illusion: predicting self-reports of people's personal experiences. *Acta Psychol (Amst)*. 2012;141:169-177.
48. Marotta A, Zampini M, Tinazzi M, Fiorio M. Age-related changes in the sense of body ownership: New insights from the rubber hand illusion. *PLoS One*. 2018;13:e0207528.
49. Tame L, Linkenauger SA, Longo MR. Dissociation of feeling and belief in the rubber hand illusion. *PLoS One*. 2018;13:e0206367.
50. Dempsey-Jones H, Kritikos A. Handedness modulates proprioceptive drift in the rubber hand illusion. *Exp Brain Res*. 2018.

51. Lira M, Egito JH, Dall'Agnol PA, Amodio DM, Goncalves OF, Boggio PS. The influence of skin colour on the experience of ownership in the rubber hand illusion. *Sci Rep.* 2017;7:15745.
52. Franke GH: Symptom-Checkliste von L.R. Derogatis - Deutsche Version (SCL-90-R). Vol. 2. vollständig überarbeitete und neu normierte Auflage. Göttingen 2002.
53. Wolf M, Limberger MF, Kleindienst N, Stieglitz RD, Domsalla M, Philippen A, Steil R, Bohus M. [Short version of the borderline symptom list (BSL-23): development and psychometric evaluation]. *Psychother Psychosom Med Psychol.* 2009;59:321-324.
54. Stiglmayr CE, Braakmann D, Haaf B, Stieglitz RD, Bohus M. [Development and characteristics of Dissociation-Tension-Scale acute (DSS-Akute)]. *Psychother Psychosom Med Psychol.* 2003;53:287-294.
55. Spitzer C, Mestel R, Klingelhofer J, Gansicke M, Freyberger HJ. [Screening and Measurement of Change of Dissociative Psychopathology: Psychometric Properties of the Short Version of the Fragebogen zu Dissoziativen Symptomen (FDS-20)]. *Psychother Psychosom Med Psychol.* 2004;54:165-172.
56. Klinitzke G, Romppel M, Hauser W, Brahler E, Glaesmer H. [The German Version of the Childhood Trauma Questionnaire (CTQ): psychometric characteristics in a representative sample of the general population]. *Psychother Psychosom Med Psychol.* 2012;62:47-51.
57. Bernstein EM, Putnam FW. Development, reliability, and validity of a dissociation scale. *J Nerv Ment Dis.* 1986;174:727-735.
58. Rodewald F, Gast U, Emrich HM. [Screening for major dissociative disorders with the FDS, the German version of the Dissociative Experience Scale]. *Psychother Psychosom Med Psychol.* 2006;56:249-258.
59. Bernstein DP, Stein JA, Newcomb MD, Walker E, Pogge D, Ahluvalia T, Stokes J, Handelsman L, Medrano M, Desmond D, Zule W. Development and validation of a brief screening version of the Childhood Trauma Questionnaire. *Child Abuse Negl.* 2003;27:169-190.
60. Derogatis LR, Lipman RS, Covi L. SCL-90: an outpatient psychiatric rating scale - preliminary report. *Psychopharmacol Bull.* 1973;9:13-28.
61. Pec O, Bob P, Raboch J. Dissociation in schizophrenia and borderline personality disorder. *Neuropsychiatr Dis Treat.* 2014;10:487-491.
62. Shearer SL. Dissociative phenomena in women with borderline personality disorder. *Am J Psychiatry.* 1994;151:1324-1328.
63. Bichescu-Burian DM, Grieb B, Steinert T, Uhlmann C, Steyer J. Use of a Psychophysiological Script-driven Imagery Experiment to Study Trauma-related Dissociation in Borderline Personality Disorder. *J Vis Exp.* 2018.
64. Korzekwa MI, Dell PF, Links PS, Thabane L, Fougere P. Dissociation in borderline personality disorder: a detailed look. *J Trauma Dissociation.* 2009;10:346-367.
65. Sar V, Akyuz G, Kugu N, Ozturk E, Ertem-Vehid H. Axis I dissociative disorder comorbidity in borderline personality disorder and reports of childhood trauma. *J Clin Psychiatry.* 2006;67:1583-1590.
66. Gast U, Rodewald F, Nickel V, Emrich HM. Prevalence of dissociative disorders among psychiatric inpatients in a German university clinic. *J Nerv Ment Dis.* 2001;189:249-257.

67. Watson S, Chilton R, Fairchild H, Whewell P. Association between childhood trauma and dissociation among patients with borderline personality disorder. *Aust N Z J Psychiatry*. 2006;40:478-481.
68. Spitzer C, Effler K, Freyberger HJ. [Posttraumatic stress disorder, dissociation and self-destructive behavior in borderline patients]. *Z Psychosom Med Psychother*. 2000;46:273-285.
69. Stiglmayr CE, Shapiro DA, Stieglitz RD, Limberger MF, Bohus M. Experience of aversive tension and dissociation in female patients with borderline personality disorder -- a controlled study. *J Psychiatr Res*. 2001;35:111-118.
70. Pavony MT, Lenzenweger MF. Somatosensory processing and borderline personality disorder: pain perception and a signal detection analysis of proprioception and exteroceptive sensitivity. *Personal Disord*. 2014;5:164-171.
71. Magerl W, Burkart D, Fernandez A, Schmidt LG, Treede RD. Persistent antinociception through repeated self-injury in patients with borderline personality disorder. *Pain*. 2012;153:575-584.
72. Bungert M, Koppe G, Niedtfeld I, Vollstadt-Klein S, Schmahl C, Lis S, Bohus M. Pain Processing after Social Exclusion and Its Relation to Rejection Sensitivity in Borderline Personality Disorder. *PLoS One*. 2015;10:e0133693.
73. Botan V, Fan S, Critchley H, Ward J. Atypical susceptibility to the rubber hand illusion linked to sensory-localised vicarious pain perception. *Conscious Cogn*. 2018;60:62-71.
74. Judd PH, Ruff RM. Neuropsychological Dysfunction in Borderline Personality-Disorder. *Journal of Personality Disorders*. 1993;7:275-284.
75. Swirsky-Sacchetti T, Gorton G, Samuel S, Sobel R, Genetta-Wadley A, Burleigh B. Neuropsychological function in borderline personality disorder. *J Clin Psychol*. 1993;49:385-396.
76. Posner MI, Rothbart MK, Vizueta N, Levy KN, Evans DE, Thomas KM, Clarkin JF. Attentional mechanisms of borderline personality disorder. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2002;99:16366-16370.
77. Tsakiris M, Tajadura-Jimenez A, Costantini M. Just a heartbeat away from one's body: interoceptive sensitivity predicts malleability of body-representations. *Proc Biol Sci*. 2011;278:2470-2476.
78. Suzuki K, Garfinkel SN, Critchley HD, Seth AK. Multisensory integration across exteroceptive and interoceptive domains modulates self-experience in the rubber-hand illusion. *Neuropsychologia*. 2013;51:2909-2917.
79. Muller LE, Schulz A, Andermann M, Gabel A, Gescher DM, Spohn A, Herpertz SC, Bertsch K. Cortical Representation of Afferent Bodily Signals in Borderline Personality Disorder: Neural Correlates and Relationship to Emotional Dysregulation. *JAMA Psychiatry*. 2015;72:1077-1086.
80. Coifman KG, Berenson KR, Rafaeli E, Downey G. From negative to positive and back again: polarized affective and relational experience in borderline personality disorder. *J Abnorm Psychol*. 2012;121:668-679.
81. Herbert BM, Herbert C, Pollatos O. On the relationship between interoceptive awareness and alexithymia: is interoceptive awareness related to emotional awareness? *J Pers*. 2011;79:1149-1175.

82. Deborde AS, Miljkovitch R, Roy C, Dugre-Le Bigre C, Pham-Scottez A, Speranza M, Corcos M. Alexithymia as a mediator between attachment and the development of borderline personality disorder in adolescence. *J Pers Disord.* 2012;26:676-688.
83. Decety J, Lamm C. The role of the right temporoparietal junction in social interaction: how low-level computational processes contribute to meta-cognition. *Neuroscientist.* 2007;13:580-593.
84. Bitsch F, Berger P, Nagels A, Falkenberg I, Straube B. The role of the right temporo-parietal junction in social decision-making. *Hum Brain Mapp.* 2018;39:3072-3085.
85. Young L, Dodell-Feder D, Saxe R. What gets the attention of the temporo-parietal junction? An fMRI investigation of attention and theory of mind. *Neuropsychologia.* 2010;48:2658-2664.
86. Hallquist MN, Hall NT, Schreiber AM, Dombrovski AY. Interpersonal dysfunction in borderline personality: a decision neuroscience perspective. *Curr Opin Psychol.* 2018;21:94-104.
87. Dammann G, Riemenschneider A, Walter M, Sollberger D, Kuchenhoff J, Gundel H, Clarkin JF, Gremaud-Heitz DJ. Impact of Interpersonal Problems in Borderline Personality Disorder Inpatients on Treatment Outcome and Psychopathology. *Psychopathology.* 2016;49:172-180.
88. Bach B, Fjeldsted R. The role of DSM-5 borderline personality symptomatology and traits in the link between childhood trauma and suicidal risk in psychiatric patients. *Borderline Personal Disord Emot Dysregul.* 2017;4:12.
89. Brakemeier EL, Dobias J, Hertel J, Bohus M, Limberger MF, Schramm E, Radtke M, Frank P, Padberg F, Sabass L, Jobst A, Jacob GA, Struck N, Zimmermann J, Normann C. Childhood Maltreatment in Women with Borderline Personality Disorder, Chronic Depression, and Episodic Depression, and in Healthy Controls. *Psychother Psychosom.* 2018;87:49-51.

Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universitätsklinik Tübingen unter der Betreuung von Prof. Dr. C. Plewnia durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte eigenständig durch mich und Dr. med. C. Frischholz (Assistenzarzt der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie). Die Durchführung der Studie wurde durch mich und Dr. med. C. Frischholz bei der Ethikkommission beantragt. Sämtliche Versuche wurden eigenständig von mir durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich. Ich versichere das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren Quellen als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 06.12.2018

Julia Becker-Sadzio