



OFFENER ZUGANG

BEARBEITET VON

Mariella Pazzaglia,
Sapienza Universität Rom, Italien

REZENSION

Gabriella Bottini, Universität
Pavia, Italien Orestis
Giotakos,
Unabhängiger Forscher, Athen,
Griechenland

*KORRESPONDENZ

Breanne E.
Kearneybkearne3@uwo.
ca Ruth A. Lanius
ruth.lanius@lhsc.on.ca

SPEZIALABTEILUNG

Dieser Artikel wurde bei
Perception Science
eingereicht,
einer Rubrik der Fachzeitschrift
Frontiers in Neuroscience

EINGEGANGEN am 10. August 2022

ANGENOMMEN 14. Oktober 2022

VERÖFFENTLICHT 21. November 2022

ZITIERUNG

Kearney BE und Lanius RA (2022) Die
Trennung von Gehirn und Körper: Eine
somatisch-sensorische Grundlage für
traumabedingte Störungen.
Front. Neurosci. 16:1015749. doi:
10.3389/fnins.2022.1015749

COPYRIGHT

© 2022 Kearney und Lanius. Dies ist ein
Open-Access-Artikel, der unter den
Bedingungen der [Creative Commons
Attribution License \(CC BY\)](#) verbreitet
wird. Die Verwendung, Verbreitung oder
Vervielfältigung in anderen Foren ist
gestattet, sofern die ursprünglichen
Autoren und Urheberrechtsinhaber
genannt werden und die ursprüngliche
Veröffentlichung in dieser Zeitschrift
gemäß den anerkannten akademischen
Gepflogenheiten zitiert wird. Eine
Verwendung, Verbreitung oder
Vervielfältigung, die nicht diesen
Bedingungen entspricht, ist nicht
gestattet.

Die Trennung von Gehirn und Körper: Eine somatische sensorische Grundlage für traumabedingte Störungen

Breanne E. Kearney¹ * und Ruth A. Lanius^{1,2} *

¹ Abteilung für Neurowissenschaften, Schulich School of Medicine and Dentistry, Western University, London, ON, Kanada, ² Abteilung für Psychiatrie, Schulich School of Medicine and Dentistry, Western University, London, ON, Kanada

Obwohl die Manifestation von Traumata im Körper ein von Klinikern und traumatisierten Personen gleichermaßen anerkanntes Phänomen ist, sind die neurobiologischen Grundlagen dieser Manifestation nach wie vor unklar. Der Begriff der somatischen sensorischen Verarbeitung, der die vestibuläre und somatosensorische Verarbeitung umfasst und sich auf die sensorischen Systeme bezieht, die mit der Existenz des physischen Körpers im physischen Raum und seiner Beziehung zu diesem befasst sind, wird als wichtiger Faktor für die allgemeine regulatorische, sozial-emotionale und selbstreferenzielle Funktionsweise eingeführt. Aus einer phylogenetisch und ontogenetisch fundierten Perspektive werden traumabedingte Symptome als Folge einer Dysfunktion der somatosensorischen Verarbeitung auf der Ebene des Hirnstamms und deren kaskadenartigen Auswirkungen auf die physiologische Erregungsmodulation, die Affektregulation und höhere Funktionen verstanden. Abschließend stellen wir ein neuartiges hierarchisches Modell vor, das somatische sensorische Prozesse mit limbischen und neokortikalen Mechanismen verbindet, die die emotionalen Erfahrungen und das Gefühl eines relationalen, handlungsfähigen Selbst eines Individuums regulieren. Dieses Modell bietet einen Arbeitsrahmen für die neurobiologisch fundierte Beurteilung und Behandlung von traumabedingten Störungen aus der Perspektive der somatischen sensorischen Verarbeitung.

SCHLÜSSELWÖRTER

vestibulär, somatosensorisch, Bindung, sensorisch Verarbeitung, Trauma, posttraumatische Belastungsstörung (PTBS), Selbstwahrnehmung, Verkörperung

Einführung

Unser physischer Körper ist die Heimat unseres Gehirns und als solche ein Ankerpunkt für unser Selbstverständnis und unser Handeln in der Welt. Der Körper ist über afferente und efferente Bahnen, also Nervenfaserbündel, mit dem Gehirn verbunden, die eine schnelle und effiziente Integration von Empfindungen, Emotionen, Kognition und Handlungen ermöglichen. Im Grunde genommen empfängt ein Organismus sensorische Reize, ordnet sie mit emotionalen und kognitiven Informationen in einen Kontext ein und löst eine angemessene Reaktion aus. Sensorische *Verarbeitung* bezeichnet somit die Fähigkeit, eingehende sensorische Informationen zu registrieren, zu organisieren und zu modulieren.

aus dem inneren oder äußeren Milieu, wo sie dann mit sensorischen Eingaben aus anderen Modalitäten *integriert* und zur Steuerung einer zielgerichteten Verhaltensreaktion genutzt werden (Gilbert und Sigman, 2007; Miller et al., 2007; Alais et al., 2010; Atick, 2011). Hier untersuchen wir, wie Veränderungen in den Nervenbahnen, die für die Verarbeitung und Integration somatischer oder körperbasierter Empfindungen entscheidend sind, durch schwere oder chronische Traumatisierungen aus dem Gleichgewicht geraten können, wobei die Diagnosen posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) und ihr dissoziativer Subtyp (PTBS + DS) als gut untersuchte Beispiele dienen. Es wurde gezeigt, dass Veränderungen der multisensorischen Verarbeitung höhere kognitive Funktionen (Alais et al., 2010; Wallace et al., 2020), Emotionen (Klassen et al., 2012), soziale Fähigkeiten (Baranek et al., 2018; Stevenson et al., 2018; Thye et al., 2018) und des Selbstbewusstseins (Panksepp und Northoff, 2009; Tsakiris, 2017) vermitteln, die bei traumabedingten Störungen global beeinträchtigt sind.

Eine veränderte neuronale Abwehrschaltung, die zu anhaltender sensorischer und emotionaler Überforderung als Reaktion auf Reize führt, ist bei traumabedingten Störungen offensichtlich. Die Symptomatik von PTBS und PTBS + DS weist auf eine maladaptive Reaktionsfähigkeit auf eingehende Informationen hin, darunter physiologische Erregungsdyregulation, Impulsivität, vermindertes Handlungsbewusstsein, verändertes Zeitgefühl und soziale Schwierigkeiten oder Isolation (American Psychiatric Association [APA], 2013; Cox et al., 2014). Eine PTBS wird nach einem traumatischen Ereignis diagnostiziert, das Gefühle der Angst und/oder einer Bedrohung des eigenen Lebens oder des Lebens anderer ausgelöst hat. Zu den Symptomen gehören Flashbacks oder dissoziative Wiedererleben, Hypervigilanz, erhöhte Schreckreaktionen, Vermeidungsverhalten gegenüber potenziellen Auslösern und durchgängig negative Kognitionen (American Psychiatric Association [APA], 2013). Darüber hinaus tritt PTBS + DS bei bis zu 44 % der Personen mit PTBS auf und ist durch zusätzliche Symptome der Derealisation und Depersonalisation gekennzeichnet (Lanius et al., 2010b; Steuwe et al., 2012; Wolf et al., 2012b; Stein et al., 2013; Armour et al., 2014; Blevins et al., 2014; für eine Übersicht siehe Hansen et al., 2017; White et al., 2022). Bei der Derealisation hat die betroffene Person das Gefühl, dass ihre äußere Umgebung verlangsamt, neblig, traumähnlich oder auf andere Weise unwirklich ist, während sie sich bei der Depersonalisation von ihrem physischen Körper losgelöst oder sogar über ihm schwebend fühlt. PTSD + DS steht in engem Zusammenhang mit frühkindlichen Traumatisierungen, bei denen Dissoziation als adaptive Reaktion auf eine unausweichliche Bedrohung fungiert (Nijenhuis et al., 1998a; Chu et al., 1999; Spiegel et al., 2011; Wolf et al., 2012a; Stein et al., 2013; Lowenstein, 2018). Hier kann pathologische Dissoziation ein „innerer Mechanismus sein, durch den terrorisierte Menschen zum Schweigen gebracht werden“ (Herman, 1992, S. 239), wobei adaptive neurobiologische Mechanismen zur Unterdrückung der sensorischen und emotionalen Überforderung durch chronische Traumata zum Einsatz kommen. Während einer traumatischen Erfahrung (peritraumatisch) überwältigen negativ valenzierte sensorische Reize die unteren Verarbeitungsregionen im Hirnstamm und Mittelhirn. Peritraumatisch fühlen sich die Betroffenen unsicher, bedroht, außer Kontrolle und daran gehindert, ihre (oder die) Überlebensbedürfnisse zu befriedigen; traumabedingte Störungen entstehen, wenn diese

Wahrnehmungen bleiben auch nach dem Trauma bestehen. Bei Menschen mit einer Vorgeschichte chronischer emotionaler und/oder körperlicher Vernachlässigung mangelt es in den unteren Hirnregionen an sensorischen Reizen, die für positive und sichere körperliche und soziale Interaktionen unerlässlich sind. Zu den Überlebensbedürfnissen von Säugetieren gehören eine abgestimmte Fürsorge während der neurologischen Entwicklung und wechselseitige Beziehungen im Erwachsenenalter, um die kollektive Sicherheit, das Überleben und den Fortbestand der Spezies zu gewährleisten. Emotionale Vernachlässigung ist daher traumatisierend, da sie eine permanente Angst vor der Nichterfüllung der Überlebensbedürfnisse hervorruft.

Die posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) wird häufig mit Schwierigkeiten bei der sensorischen Modulation in Verbindung gebracht, die sich entweder in einer Über- oder Unterreaktion auf sensorische Reize äußern (Shalev et al., 2000; Engel-Yeger et al., 2013; Devine et al., 2020; Yochman und Pat-Horenczyk, 2020; Joseph et al., 2021). Sensorische Überempfindlichkeit tritt bei PTBS am deutlichsten zutage und ist durch niedrigere Schwellenwerte für die Registrierung und damit die Wahrnehmung eingehender sensorischer Informationen gekennzeichnet, selbst wenn keine Bedrohung vorliegt, was zu häufigen Überforderungssituationen führt. Ein anhaltend erhöhter Erregungszustand aufgrund eines erleichterten Bedrohungserkennungssystems könnte die verstärkte Wahrnehmung harmloser Reize als bedrohlich erklären (Harricharan et al., 2021). Alternativ erleben Personen mit dissoziativen Symptomen Zustände sensorischer Hypersensibilität, einschließlich Analgesie/Anästhesie (Nijenhuis et al., 1998b), was auf erhöhte neurologische Schwellenwerte für die sensorische Wahrnehmung hindeutet. Depersonalisation entspricht einer somatosensorischen Hypersensibilität, während Derealisation auf eine exterozeptive sensorische Hypersensibilität hindeutet. Diese herabgesetzten und erhöhten Schwellenwerte könnten mit einer Unter- bzw. Übermodulation der rohen sensorischen und emotionalen Eingaben aus subkortikalen Regionen zusammenhängen. Bei PTBS führen subkortikale Regionen zu einer Überlastung der Kortex, während bei PTBS + DS kortikale Regionen die unteren Regionen übermodulieren, was zu körperlicher und emotionaler Distanzierung führt (Lanius et al., 2010b). Zusammen können traumogene Zustände eine Manifestation einer gestörten subkortikalen oder vertikalen Integration sein, bei der die bipartite Modulation zwischen unteren und höheren Regionen aus dem Gleichgewicht geraten ist, insbesondere innerhalb der neuronalen Schaltkreise der Mittellinie, die ein ursprüngliches Gefühl für das körperliche und affektive Selbst als kohärente und stabile Einheit in Beziehung zu seiner Umgebung hervorbringen (Panksepp und Northoff, 2009). Diese Veränderung der vertikalen Integration hat eine kaskadenartige Auswirkung auf die thalamokortikale und kortikokortikale horizontale Integration der kortikalen Hirnstrukturen. Vertikale und horizontale Integration stehen in Zusammenhang mit neuronaler Synchronität, da untere und höhere sowie mediale und laterale Bereiche des Gehirns zwar strukturell intakt sein können, aber dennoch keine flüssige Kommunikation aufweisen (Llinás, 1970).

Hier, stellen wir vor eine neurobiologisch fundierte Perspektive auf traumabedingte Zustände, die berücksichtigt, wie die sensorische Verarbeitung zur Fähigkeit eines Organismus beiträgt, physiologische Erregung, Emotionen und Handlungen zu regulieren (Harricharan et al., 2021). Insbesondere konzentrieren wir uns auf die Bedeutung der *somatischen* (vestibulären und somatosensorischen) Sinne aufgrund ihrer direkten Relevanz für den physischen Körper, ihrer

ihre phylogenetische und ontogenetische Primazstellung und die wichtige Rolle, die sie bei der Abschwächung und Koordinierung unserer multisensorischen Erfahrungen im gegenwärtigen Moment spielen. Es wird angenommen, dass die somatische sensorische Verarbeitung eine angemessene und effiziente Verarbeitung interozeptiver und exterozeptiver (visueller, auditiver, olfaktorischer, gustatorischer) sensorischer Informationen ermöglicht. Das übergeordnete Ziel dieser Übersicht ist es, eine transdisziplinäre, neurowissenschaftlich fundierte Perspektive darauf zu bieten, wie somatische Sinnesverarbeitung zu traumabedingten Symptomen beiträgt. Wir geben einen Überblick über (1) die vestibulären und somatosensorischen Systeme; (2) die phylogenetische und ontogenetische Entwicklung der somatischen Sinnesorgane; (3) die Neurobiologie der Sinnesverarbeitung, vermittelt durch die periaquäduktale Grauzone; (4) Trauma als Angriff auf die Sinne; (5) somatosensorische Beiträge zum Selbstgefühl nach einem Trauma; und (6) was uns die Neurowissenschaften über den Zusammenhang zwischen somatosensorischer Verarbeitung und traumabedingten Störungen lehren können.

Überblick über die somatosensorischen Systeme: Vestibulares und somatosensorisches System

Das vestibuläre System

Das Gleichgewichtssystem, bestehend aus halbkreisförmigen Kanälen, die Winkelbewegungen erfassen, und Otolithenorganen im Innenohr, die lineare Bewegungen erfassen, informiert uns über dreidimensionale Kopfbeschleunigungen als Funktion der linearen Schwerkraft (Lopez und Blanke, 2011; Holstein, 2012; Jamon, 2014). Es handelt sich um ein sensorisches System, das niemals „schläft“ – die Schwerkraft ist eine allgegenwärtige und unveränderliche Kraft, die das Gleichgewichtssystem ständig stimuliert und sich auf unsere alltäglichen Bewegungen in Bezug auf die physische und soziale Welt um uns herum auswirkt. Als Konstante ist die Schwerkraft vorhersehbar und etwas, das wir in unseren prägenden Jahren unbewusst verstehen lernen. Daher ist die Entwicklung eines Bezugs zur Schwerkraft entscheidend für die Orientierung unseres Körpers im Raum, die Navigation durch die Umgebung, die Aufrechterhaltung einer aufrechten und vertikalen Haltung als Zweibeiner und das Wahrnehmen des Zeitablaufs als Funktion der Bewegung auf der Erde (Brandt et al., 1994; Lacquaniti et al., 2015; Ferrè und Haggard, 2016). Die Funktionsweise des Gleichgewichtssystems bleibt unbewusst, bis wir unerwartet stolpern oder beschleunigen, wodurch die autonome Erregung über die absteigenden Projektionen der Gleichgewichtskerne erhöht wird, die die vestibulär-sympathischen Reflexeinflüsse auf Atmung, Herzfrequenz und Blutfluss (Hernandez und Das, 2020) und deren Verbindungen zum retikulären Aktivierungssystem (RAS; Peterson et al., 1975) modulieren. Jeder, der schon einmal unerwartet das Gleichgewicht verloren hat, kann die darauf folgende Beschleunigung des Herzschlags, das Gefühl von Schwindel und das Keuchen bestätigen, die unsere unmittelbare Aufmerksamkeit erregen. Diese autonomen und motorischen Reaktionen modulieren die Erregung und gewährleisten unsere körperliche Sicherheit, bevor wir uns dessen bewusst werden.

Die vestibuläre Verarbeitung ist daher untrennbar mit einem Gefühl der Geborgenheit, Bodenhaftung und Sicherheit verbunden.

Eine vestibuläre Stimulation tritt auf, wenn Kristalle und Flüssigkeit in den Otolithen bzw. den halbkreisförmigen Kanälen verschoben werden und über die pontomedulläre Verbindung Signale an die vestibulären Kerne senden (Carmona et al., 2009; Jamon, 2014) oder über den unteren Kleinhirnstiel an die flockig-knötchenförmigen Lappen des Kleinhirns (Highstein und Holstein, 2006). Propriozeptive Informationen aus Kopf, Hals und Rumpf werden mit vestibulären Informationen in den vestibulären Kernen, im Thalamus und im Kleinhirn integriert, wodurch die Bewegung als selbst oder von anderen ausgelöst kontextualisiert wird (Deecke et al., 1977; Gdowski und McCrea, 2000; Luan et al., 2013). Neuronen aus den vestibulären Kernen projizieren sich entlang des lateralen vestibulospinalen Trakts nach unten, um den Muskeltonus und die Körperhaltung zu beeinflussen (Yoo und Mihaila, 2020), nach unten, um vestibulär-sympathische Reflexe des Herzens und der Lunge zu innervieren (Hernandez und Das, 2020), und quer zum Flocculonodular-Lappen im Kleinhirn, um Gleichgewicht, Koordination und Emotionsverarbeitung zu steuern (Britton und Arshad, 2019) und bis zu den unteren und oberen Colliculi des Mittelhirns und multisensorischen Integrationsbereichen der Großhirnrinde, wo sie zur Körperwahrnehmung, räumlichen Verarbeitung/Gedächtnis, Erregungsmodulation, Ich-Perspektive und sozialer Kognition beitragen (Ferrè und Haggard, 2020; Rabellino et al., 2022) (Abbildung 1).

Ursprünglich dachte man, dass vestibuläre Projektionen ausschließlich für das Gleichgewicht und die Augenbewegungen zuständig sind. Heute weiß man jedoch, dass sie aufgrund ihrer weitreichenden Innervation des Gehirns und des Körpers (Carmona et al., 2009; Lopez und Blanke, 2011; Ferrè und Haggard, 2016) und ihrer multisensorischen Natur (Raiser et al., 2020; Huber et al., 2021). Anekdotische Beobachtungen zeigen, dass das meditative Schaukeln buddhistischer Mönche, das Wirbeln der Sufi-Semazen-Künstler und die achtsamen Bewegungen von Yogapraktizierenden den universellen und tiefgreifenden Einfluss vestibulärer Stimulation auf die Beruhigung des Geistes und die Förderung eines Zustands der Präsenz und Ruhe belegen. Funktionell wurde gezeigt, dass vestibuläre Reize an der motorischen Kontrolle (Nandi und Luxon, 2008; Takakusaki, 2017), der autonomen Erregungsregulation von Atmung und Blutdruck (Balaban und Porter, 1998; Biaggioni et al., 1998; Furman et al., 1998; Yates und Miller, 1998; Murakami et al., 2002), der Emotionsregulation (Balaban und Thayer, 2001), der sozialen Kognition (Mast et al., 2014; Deroualle et al., 2015) und der Aufrechterhaltung einer kohärenten Repräsentation des Körpers (Mast et al., 2014; Ferrè und Haggard, 2016). Im Gegensatz zu anderen sensorischen Systemen, die über eine primäre Thalamus-Relaisstation und einen kortikalen Verarbeitungsbereich verfügen, wurde keine fokale Verarbeitungsregion definiert, die ausschließlich dem vestibulären System zugeordnet ist (Hitier et al., 2014; Wijesinghe et al., 2015). Ein „vestibulärer Kortex“ wurde bei Primaten und anderen Säugetieren abgegrenzt (Akbarian et al., 1992; Guldin et al., 1992; für eine Übersicht siehe Guldin und Grüsser, 1998), aber vor allem aufgrund der Verflechtung mit anderen sensorischen Reizen ist seine genaue Lage im menschlichen Gehirn noch nicht eindeutig kartiert (zu Eulenburg et al.,

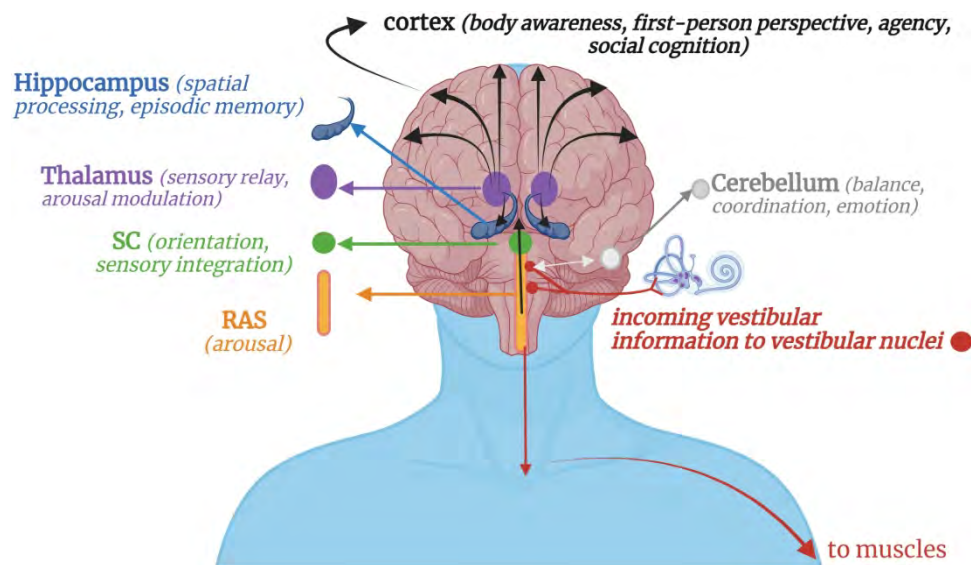


ABBILDUNG 1

Vereinfachte schematische Darstellung der vestibulären Projektionen im gesamten Nervensystem. Afferenzen aus den Gravitationskräften gelangen zu den vestibulären Kernen, die über das Kleinhirn, die Formatio reticularis und spinale Afferenzen mit somatosensorischen Afferenzen integriert sind. Abwärts gerichtete vestibuläre Efferenzen senden Signale für die Muskelstreckung und die Haltungskontrolle. Reziproke Verbindungen zum Kleinhirn, hauptsächlich zu dessen Flocculonodular-Lappen, ermöglichen Feedback-Feedforward-Mechanismen der motorischen Koordination und Flüssigkeit, wobei das Kleinhirn Informationen zurück an die vestibulären Kerne oder direkt an den Kortex weiterleitet. Aufsteigende vestibuläre Projektionen integrieren sich mit dem RAS und SC zur Modulation der Erregung und Orientierungsreaktionen, bevor sie über den Thalamus zu höheren kortikalen Strukturen weitergeleitet werden. Vestibuläre Projektionen zum Kortex tragen dann zu höheren kognitiven Prozessen wie dem Handlungsbewusstsein, der Ich-Perspektive, der sozialen Kognition und dem Körperbewusstsein bei. Selbstbewusstsein bei. RAS, retikuläres Aktivierungssystem; SC, Superior colliculi.

2012; Frank und Greenlee, 2018). Die konsistentesten und robustesten Ergebnisse zu vestibulär-kortikalen Projektionen betreffen die Insula und das umgebende parietale Operculum, die temporo-parietale Verbindung (TPJ), den superioren temporalen Gyrus, den somatosensorischen Kortex und den mittleren cingulären Kortex (Guldin und Grüsser, 1998; Lopez und Blanke, 2011; Frank und Greenlee, 2018), wobei die größten Knotenpunkte das parietale Operculum (OP2) (zu Eulenburg et al., 2012; Huber et al., 2021; Ibitoye et al., 2022) und die TPJ (Bottini et al., 1994, 2001; Lopez und Blanke, 2011). Diese multimodalen Verarbeitungsregionen umfassen auditive, visuelle und somatosensorische Eingaben, was auf eine multisensorische Verbindungsfunktion des vestibulären Systems hindeutet (Pfeiffer et al., 2013; Shayman et al., 2018). Die multisensorische Verknüpfung führt dann zu einer einheitlichen multisensorischen Erfahrung, die der Selbstrepräsentation und dem Körperbewusstsein zugrunde liegt (Ferrè et al., 2014). Dies wurde durch verlängerte multisensorische zeitliche Bindungsfenster bei Personen mit vestibulärer Hypofunktion nachgewiesen, sodass multisensorische Eingaben länger für die Übertragung und Verarbeitung benötigen, was zu einer unzusammenhängenden Ankunft in multisensorischen integrativen Hirnregionen führt (Shayman et al., 2018).

Vestibuläre Reize modulieren und steuern angeblich sensorische Integrationsprozesse, indem sie sensorische Signale als Reaktion auf interne und externe Umwelthanforderungen ausgleichen (Bense et al., 2001; Ferrè und Haggard, 2016). Diese modulierende Rolle ist entscheidend für die multisensorische Integration, bei der der Ausgleich zwischen interozeptiven und exterozeptiven sensorischen Reizen entscheidend ist

für die Entstehung und Aufrechterhaltung unserer Wahrnehmung der Realität und die Steuerung adaptiven und zielgerichteten Verhaltens (Harricharan et al., 2021). Die vestibuläre Stimulation hat eine modulierende Wirkung auf propriozeptive (Gallagher et al., 2021), taktile, nozizeptive (McGeoch et al., 2009; Ferrè et al., 2013) und visuell-propriozeptive Reize (Ponzo et al., 2018). Darüber hinaus führt die optogenetische Stimulation der medialen Vestibulariskerne zu einer verstärkten kortikalen Aktivierung als Reaktion auf visuelle und akustische Reize (Leong et al., 2019), während die kalorische Vestibularstimulation bei gesunden Personen eine analgetische Wirkung hat (Ferrè und Haggard, 2015). Hier passt der vestibuläre Input die Wahrnehmungserfahrung in Bezug auf eine sich ständig verändernde Körper-Umwelt-Dynamik an und trägt so zu einer flüssigen und adaptiven Antizipation und Reaktion auf zukünftige Ereignisse bei (Mast et al., 2014; Takakusaki, 2017).

Obwohl die ungewöhnlich weitreichenden Einflüsse des vestibulären Systems auf das Gehirn die Annahme stützen, dass es zu kognitiven und emotionalen Prozessen bei Gesundheit und Krankheit beiträgt (Balaban et al., 2011; Hoffe und Balaban, 2011; Ferrè und Haggard, 2020), ist seine Berücksichtigung bei traumabedingten Erkrankungen relativ neu. Da vestibuläre Signale in einer einzigartigen Position sind, um sowohl die multisensorische Verarbeitung auf niedrigerer Ebene als auch die körperlichen Repräsentationen höherer Ordnung direkt zu modulieren, könnten sie in einzigartiger Weise zu den weitreichenden Veränderungen der sensorischen Modulation und der Orientierung gegenüber der Realität beitragen, die bei dissoziativen Episoden und Flashbacks zu beobachten sind. Bei PTBS ist bekannt, dass Hypervigilanz, übertriebene Schreckreaktionen,

und allgegenwärtige negative Emotionen prägen den Alltag. Traumatisierte Personen fühlen sich unsicher oder bedroht, wenn sie im Kontext einer aktuellen oder früheren bedrohlichen Situation mit einer Flut von Sinneseindrücken konfrontiert werden, was zu einer übermäßigen Konzentration auf potenziell gefährliche exterozeptive Reize führt. Obwohl die Mechanismen noch nicht vollständig geklärt sind, könnte die Rolle vestibulärer Informationen bei der Modulation multisensorischer Reize bei PTBS gestört sein und zu zustandsabhängigen sensorischen Über- und Unterempfindlichkeiten gegenüber exterozeptiven Reizen beitragen. Eine gestörte zeitliche Verknüpfung sensorischer Informationen führt zu Wahrnehmungschaos und einem Mangel an Kohärenz, was zu einer körperlichen Entfremdung („Ich fühle mich innerlich tot“) sowie zu Zuständen der Hypervigilanz („Ich muss ständig auf der Hut sein“) führen kann (Foa et al., 1999). Wichtig ist, dass signifikante Unterschiede in der Konnektivität der vestibulären Kerne zwischen PTBS und PTBS + DS nachgewiesen wurden (Harricharan et al., 2017), wobei PTBS + DS eine signifikant verminderte Konnektivität mit dem TPJ und kortikalen Regionen aufweist. Angesichts der dissoziativen Symptomatik innerhalb dieser Population kann eine mangelnde vestibuläre Innervation von Regionen, die an der Körperwahrnehmung beteiligt sind, zu einer häufigen und tiefgreifenden Entfremdung vom Körper und/oder der Umgebung führen, die sich in Form von Depersonalisations- bzw. Derealisationsymptomen manifestiert.

Das somatosensorische System

Das somatosensorische System besteht aus Haut, Muskeln und Gelenken, die leichte Berührungen, tiefen Druck, Schmerzen, Temperatur und propriozeptive Reize wahrnehmen. Das somatosensorische System trägt sowohl zur interozeptiven als auch zur exterozeptiven Verarbeitung bei, da es Reize wahrnimmt, die innerhalb und außerhalb des Körpers entstehen, und so das höhere Bewusstsein für den physiologischen Zustand des Körpers bzw. die unmittelbare äußere Umgebung beeinflusst (Abraira und Ginty, 2013). Taktile und propriozeptive Informationen liefern wichtige Informationen über den Körper im physischen Raum und in Bezug auf die Umgebung und andere Personen. Da taktile Reize einen weitreichenden Einfluss auf die Körperfunktionen und die Wahrnehmung haben, der von einfachen Reflexen über die Regulierung der Erregung bis hin zu komplexen sozialen Prozessen reicht, sind sie auch für zahlreiche Prozesse des zentralen Nervensystems von großer Bedeutung (Ayres, 1972; McGlone et al., 2014; Lane et al., 2019).

Berührungen sind detected through specialized cutaneous

Mechanorezeptoren (Gillespie und Walker, 2001; del Valle et al., 2012) und können weiter unterteilt werden in nicht-affektive und affektive Berührungen (McGlone et al., 2014). Neugeborene reagieren unterschiedlich auf affektive und nicht-affektive Berührungen (della Longa et al., 2021), was darauf hindeutet, dass diese beiden Kanäle von Geburt an getrennt funktionieren. Diskriminierende oder nicht-affektive Berührungen werden über myelinisierte A-beta-Afferenzen an den primären somatosensorischen Kortex (S1) weitergeleitet (Olausson et al., 2010; Manzotti et al., 2019). Sie nehmen die Form und Oberflächenstruktur von Objekten wahr und lokalisieren sie, steuern motorische Aktionen und geben Rückmeldung über die aktive Interaktion des Körpers mit seiner Umgebung.

seiner Umgebung (McGlone et al., 2007). Dieser Signalweg ist auch wichtig für das Haltungsschema, das mit der wahrnehmungsbezogenen Darstellung der Größe und Form des Körpers zusammenhängt (Longo et al., 2009; Serino und Haggard, 2010). Tiefer Druck und Vibration stimulieren die Pacini-Körperchen, eine weitere Art von Mechanorezeptoren, die tiefer in der Haut liegen (Bell et al., 1994) und Auswirkungen auf die autonome Erregung haben. Tiefer Druck, selbst über kurze Zeiträume, hat zu einer verminderten sympathischen Erregung geführt (Reynolds et al., 2015), während eine moderate Tiefdruckmassage mit einer erhöhten parasympathischen Aktivität in Verbindung gebracht wurde (Diego und Field, 2009). Schmerz und Temperatur werden durch differenzierte Mechanorezeptoren mit hoher Schwelle wahrgenommen, die über den unmyelinisierten spinothalamischen Trakt weitergeleitet werden. Der spinothalamische Trakt verläuft vom Körper über die retikuläre Formation zum Thalamus und beeinflusst die Erregung und das Verhalten als Reaktion auf potenzielle Gefahren oder Verletzungen (Fregoso et al., 2019).

Affektive Berührungen werden durch die Aktivierung von niedrigschwelligen taktilen Mechanorezeptoren (C-LTMR) wahrgenommen, die bevorzugt auf sanfte, streichelnde Berührungen mit Hauttemperatur auf den behaarten Hautpartien reagieren (Löken et al., 2009; Morrison et al., 2011; McGlone et al., 2014). Unmyelinisierte „CT-afferente“ Bahnen (Ackerley et al., 2014; Björnsdotter et al., 2014) übertragen affektive Berührungen und aktivieren selektiv die posteriore Insula (PI) (Olausson et al., 2002, 2008; Davidovic et al., 2019; Tuulari et al., 2019), eine kortikale Region, die an der Wahrnehmung des physiologischen Zustands des Körpers beteiligt ist (Craig, 2002; Olausson et al., 2010). Die Stimulation der CT-afferenten Bahnen steht im Zusammenhang mit positiven Affekten (Pawling et al., 2017), der Linderung von körperlichen und emotionalen Schmerzen (von Mohr et al., 2017, 2018), der Senkung der Herzfrequenz (Ditzen et al., 2007; Fairhurst et al., 2014; Manzotti et al., 2019), Verbesserung der interozeptiven Wahrnehmung (Crucianelli et al., 2018; Crucianelli und Ehrsson, 2022), Abschwächung von Angst-/Abwehrreaktionen (Liu et al., 2018; Walker et al., 2020; Wang et al., 2020) und das Streben nach sozialen Kontakten, vermittelt durch die Ausschüttung von Oxytocin (Olausson et al., 2002; Morrison et al., 2010; Brzozowska et al., 2022). In Rattenstudien wird die mütterliche Fürsorge anhand des Putzverhaltens (Lecken) der Mutter gegenüber ihren Jungen gemessen, das wiederholt gezeigt hat, dass es Stress abschwächt und die Entwicklung hormoneller, emotionaler und kognitiver Reaktionen auf Stressoren reguliert (Caldji et al., 1998; Liu et al., 2000; Meaney, 2001). Bei jungen Ratten wird nach wiederholter Bereitstellung taktiler Pflegereize ein Anstieg der Oxytocinrezeptorwerte berichtet (Francis et al., 2000; Champagne et al., 2001). Wichtig ist, dass die Stimulation der CT-afferenten Bahnen, die die mütterliche Fellpflege simuliert, ausreicht, um die neuronale Aktivität von Oxytocin zu steigern und prosoziales Verhalten zu fördern, wenn Ratten das Erwachsenenalter erreichen, während Berührungsentzug zu sozialer Isolation und einer verminderten Präferenz für soziale Kontexte führt (Bourinet et al., 2021; Yu et al., 2022). Daher ist affektive Berührung ein Medium, durch das wir soziale Zuwendung zeigen und Stress abbauen, indem wir unsere Präsenz in Echtzeit und im realen Raum nonverbal mit anderen kommunizieren (Gallace und Spence, 2010; Cascio et al., 2019; Ciaunica et al., 2021a; Bohic und Abraira, 2022).

Während taktile Rezeptoren Informationen über den Kontakt des Körpers mit seiner Umgebung und anderen Personen liefern, informieren Propriozeptoren darüber, wo sich der physische Körper im Raum befindet. Die Propriozeption wird über Golgi-Sehnenkörper in den Gelenken und Muskelspindelfasern im Muskelgewebe erfasst und informiert über die Gelenkposition und die Aktivierung der Muskelfasern (Tuthill und Azim, 2018). Mechanorezeptoren in der Haut tragen ebenfalls zur Propriozeption bei, wenn sich die Haut als Reaktion auf Veränderungen des Gelenkwinkels dehnt (Taylor, 2009). Die Integration propriozeptiver Reize aus dem Nacken, dem Rumpf und den Gliedmaßen mit vestibulären Reizen auf der Ebene des Hirnstamms ist entscheidend dafür, ob wir wahrnehmen, ob sich nur unser Kopf, unser Rumpf und Kopf oder unser gesamter Körper im Raum bewegt hat. Vibrationen, die auf Sehnen ausgeübt werden, lösen illusorische Bewegungen und Dimensionen der Gliedmaßen aus und beeinflussen das Körperbild und das Gleichgewicht (Eklund, 1972; Goodwin et al., 1972; Lackner, 1988; McGlone et al., 2002; Romaguère et al., 2003; McIntyre und Seizova-Cajic, 2007; Seizova-Cajic und Sachtler, 2007; Fasold et al., 2008; Palluel et al., 2011) und verdeutlichen die Bedeutung der Propriozeption für unser Gefühl der Stabilität und Konstanz in Bezug auf den Körper im Raum (Taylor, 2009).

Je nach Lage und Art der Eingabe gibt es mehrere somatosensorische Bahnen (Abbildung 2). Nicht-affektive taktile und propriozeptive Eingaben werden entlang der dorsalen Säule und dem medialen Lemniscal-Pfad zum superioren Colliculus, Thalamus und S1 weitergeleitet, wo eine Repräsentation des physischen Körpers aufgebaut wird (Edwards et al., 1979; Kosinski et al., 1988; Taylor, 2009). Propriozeptive Reize werden über die spinozerebellären und cuneozerebellären Bahnen zum Kleinhirn weitergeleitet, wo sie für die motorische Koordination, die motorische Anpassung an Umwelтанforderungen und die Regulierung der Erregung über Verbindungen zum RAS (Ayres, 1972) sorgen, einer Struktur innerhalb der retikulären Formation, die sich vom Medulla bis zum Mesencephalon erstreckt (French und Magoun, 1952; Wijdicks, 2019). Die Propriozeption wird über den Thalamus auch an den Kortex weitergeleitet, um die Wahrnehmung und willkürliche Kontrolle über die Position und Bewegungen des Körpers zu ermöglichen (Taylor, 2009; Tuthill und Azim, 2018). Sie innerviert auch den Hirnstamm, einschließlich der vestibulären Kerne, was auf weitreichende Einflüsse und eine schwer fassbare primäre Verarbeitungsregion hindeutet.

Somatosensorische Informationen von homöostatischer Relevanz (Schmerz, Temperatur, affektive Berührung) werden über unmyelinisierte, phylogenetisch ältere afferente Bahnen übertragen (Marshall und McGlone, 2020). Schmerz und Temperatur, die über Nozizeptoren und Thermorezeptoren wahrgenommen werden, werden über einen anatomisch abgegrenzten Weg über kleinere, unmyelinisierte Axone des spinothalamischen Trakts zum Thalamus und S1 weitergeleitet (Taylor, 2009) (Abbildung 3). Angesichts der umfangreichen Literatur zur Schmerzverarbeitung und unseres Fokus auf somatosensorische Beiträge zur Verkörperung und zum Selbst würde dies den Rahmen dieses Artikels sprengen und wird daher in dieser Übersicht nicht behandelt (für eine Übersicht über traumabedingte Schmerzstörungen siehe Brennstuhl et al., 2015; Kind und Otis, 2019). Mehrere Bahnen, die subkortikale Regionen wie den unteren und oberen Colliculus und die retikuläre Formation innervieren, übertragen ebenfalls somatosensorische und nozizeptive Informationen und können

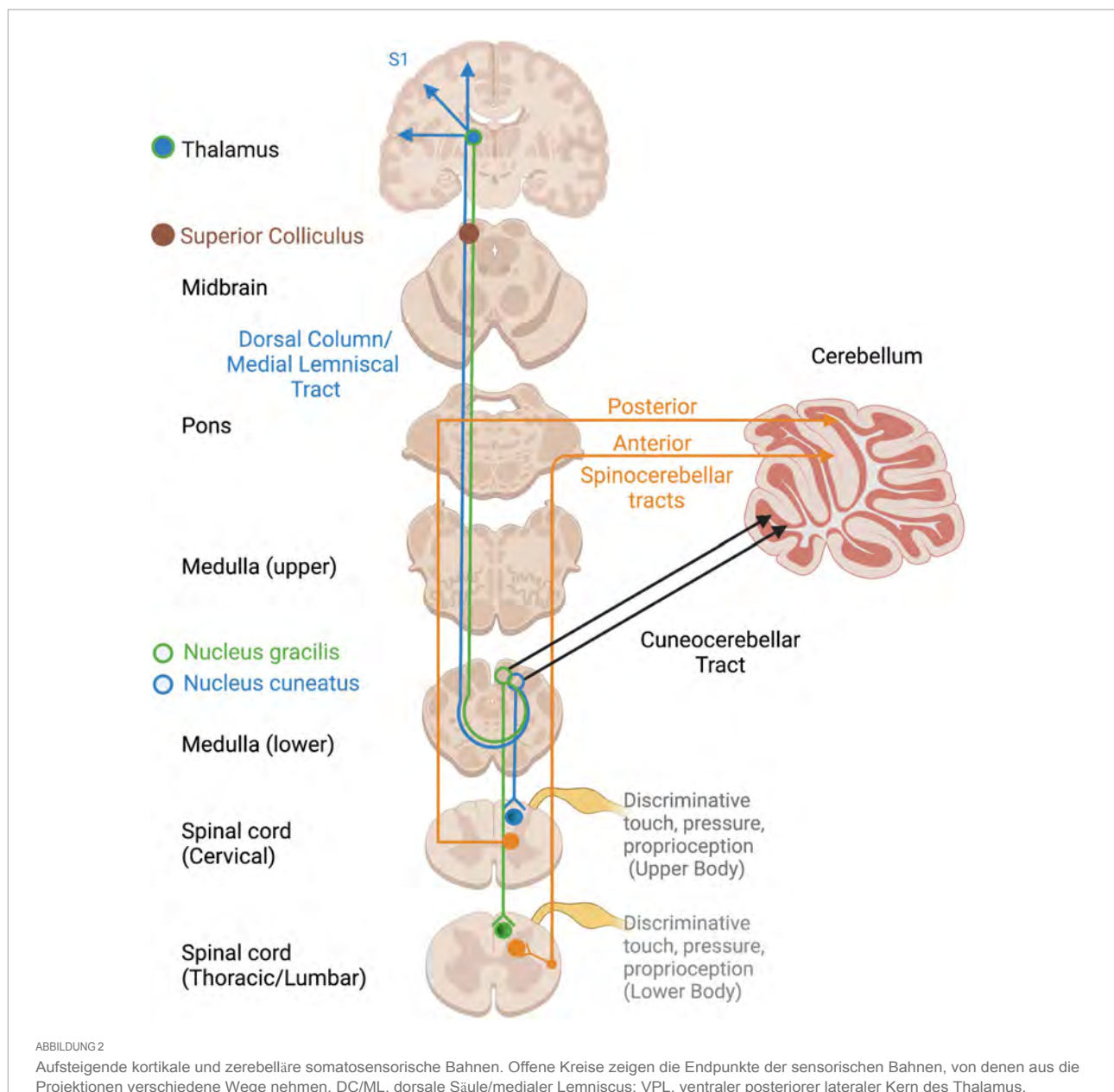
evolutionäre Relikte phylogenetisch primitiver Tiere ohne Neokortex sein (Abbildung 3). Direkte somatosensorische Impulse zum Tectum des Mittelhirns über den spinotektalen Trakt sowie zur retikulären Formation über den spinoreticulären Trakt sind ein wichtiger Aspekt bei der Frage, wie somatosensorische Impulse die multisensorische Integration vermitteln.

Angesichts seiner erst kürzlich entdeckten Eigenschaft als eigenständiges somatosensorisches Phänomen ist der neuronale Weg, den affektive Berührungen nehmen, noch spekulativ. Abbildung 4 zeigt einen hypothetischen CT-afferenten Weg, der auf der Innervation der hinteren Insula beim Menschen basiert (Olausson et al., 2002, 2008; Björnsdotter et al., 2009; McGlone et al., 2014; Jönsson et al., 2018; Tuulari et al., 2019) und der periaquäduktalen Grauzone (PAG) und dem Hypothalamus bei Mäusen (Yu et al., 2022). Tatsächlich verringert eine Schädigung der rechten Insula die Bewertung der Angenehmheit von CT-optimierter Berührung (Kirsch et al., 2020). Einige Forscher haben affektive Berührungen als interozeptive Empfindungen kategorisiert, da sie Informationen über den inneren Zustand des Körpers vermitteln und zu emotionalen Erfahrungen und physiologischen Zuständen beitragen (Björnsdotter et al., 2014; Marshall und McGlone, 2020); es ist jedoch zu beachten, dass andere jeden von außen aufgetragenen Reiz als exterozeptiv betrachten und den Begriff Interozeption für intern erzeugte Rückmeldungen reservieren, die über den Zustand des Körpers informieren (Craig, 2002; Critchley und Garfinkel, 2017; Allen, 2020). Interessanterweise wird CT-optimierte Berührung bei gesunden Personen als sehr angenehm empfunden (Löken et al., 2009), während Personen mit PTBS und/oder einer traumatischen Vorgeschichte sie als unangenehm und intensiv empfinden (Badura-Brack et al., 2015; Strauss et al., 2019; Maier et al., 2020). Personen, die in ihrer Kindheit einen Mangel an positiv bewerteten, liebevollen Berührungen erfahren haben, beispielsweise durch Vernachlässigung und Missbrauch, zeigen eine abgestumpfte Sensibilität für den sozialen Wert von Berührungen (Devine et al., 2020) und niedrigere Oxytocinwerte im Blutplasma (Heim et al., 2009; Donadon et al., 2018), was mit Störungen der durch CT-afferente Nervenbahnen gesteuerten neurologischen Entwicklung in Verbindung stehen könnte.

Multisensorische Integration: Phylogenetische und ontogenetische Entwicklung

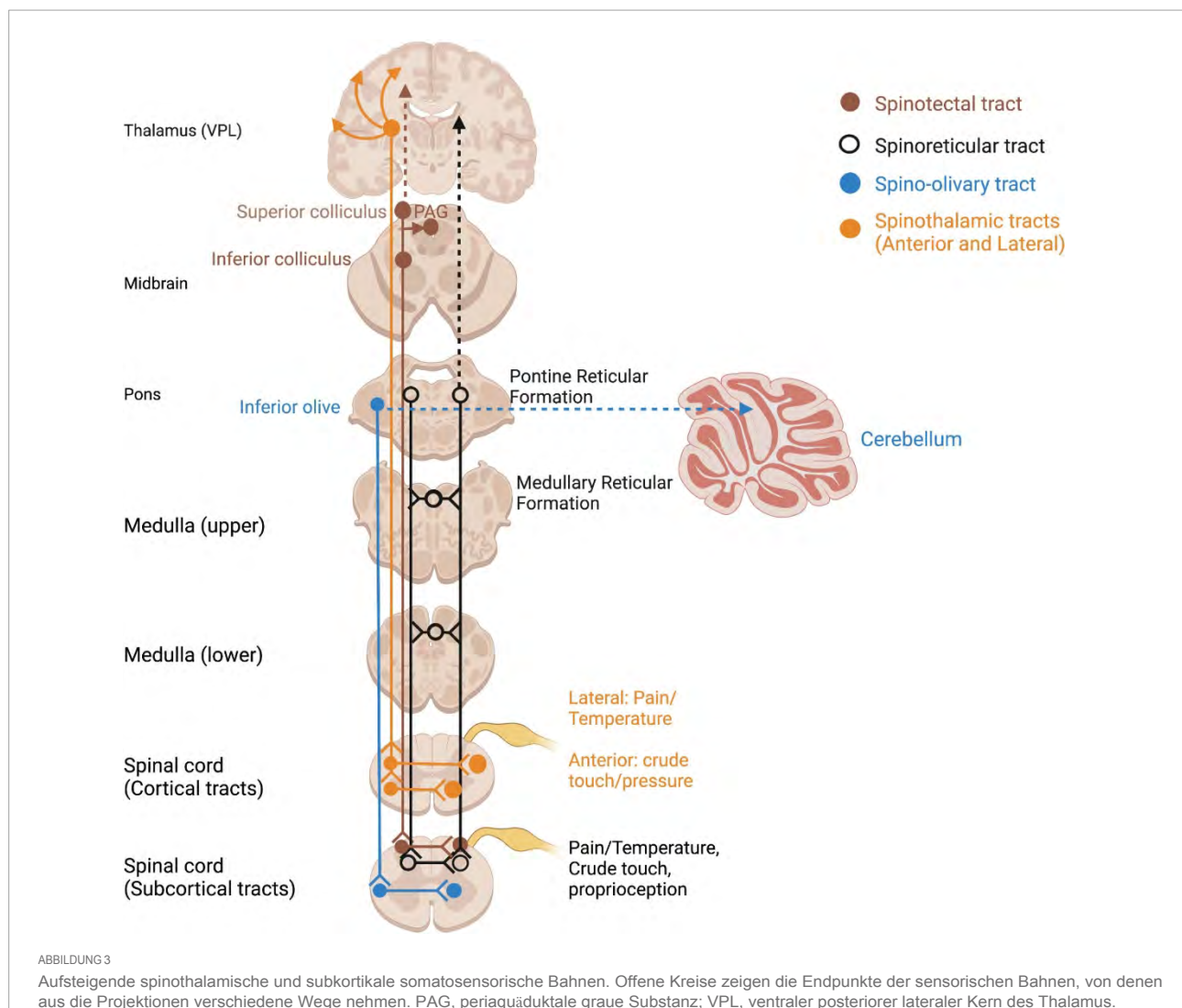
„Die meisten ausgewachsenen Bäume haben eine bemerkenswerte Krone aus Ästen und Blättern, die dynamisch mit der Umwelt interagieren. Die sich ausbreitenden Äste können jedoch ohne die Nährstoffe und die Stütze, die sie von den Wurzeln und dem Stamm erhalten, weder funktionieren noch überleben. Wir mögen den Baum für seine ausladenden Blätter schätzen, aber unser Verständnis muss bei dem Samen, den Wurzeln und dem sich entwickelnden Stamm beginnen.“ (Panksepp, 1998, S. 302).

Ein optimales Verständnis der Auswirkungen von Traumata auf die somatosensorische Verarbeitung erfordert eine tiefere Kenntnis der evolutionären Neurobiologie des Säugetiergehirns. Das Rückenmark und der Hirnstamm sind die ersten Strukturen des Zentralnervensystems, die sich bei Wirbeltieren entwickelt haben und im Mutterleib von Säugetieren entstehen. Sie sind maßgeblich beteiligt an



Überleben. Ebenso sind das vestibuläre und das somatosensorische System als phylogenetisch und ontogenetisch älteste Systeme bekannt, die ursprünglich für überlebensrelevante Prozesse zuständig waren. Diese somatischen Systeme sind grundlegender als die primär exterozeptiven visuellen und auditiven Systeme, die sich als nächste sensorische „Schicht“ entwickeln (Ayres, 1972; Roley et al., 2007). Mit der Evolution der Säugetiere entwickelten sich zusätzliche sozial-emotionale Schaltkreise, um die Versorgung der Nachkommen und die Aufrechterhaltung sozialer Beziehungen zum Überleben sicherzustellen. Die Entwicklung limbischer und neokortikaler Strukturen ermöglichte es, auf die Umwelt zu reagieren, anstatt passiv auf sensorische Reize zu reagieren, und Initiierung und Aufrechterhaltung

prosozialer Kontakt (Panksepp und Northoff, 2009). Piaget (1952) und Herrick (1956) postulierten, dass das Gehirn seine älteren Strukturen beibehält und sie mit jedem kortikal gesteuerten Evolutionsschritt neu organisiert, ähnlich dem ontogenetischen Muster der Neuroentwicklung. Macleans (1985) Theorie des dreiteiligen Gehirns stimmt damit überein und legt nahe, dass das Gehirn ein phylogenetisch geschichtetes System ist, das mit dem „reptilischen“ oder subkortikalen Gehirn begann. Auf der Grundlage der subkortikalen Strukturen entwickelte sich das limbische System, das heute in der kortikalen Mittellinie eingebettet ist und stark an Emotionen und selbstbezogenen Prozessen beteiligt ist (Panksepp und Northoff, 2009). Die letzte neokortikale Schicht bringt höhere kognitive Fähigkeiten und Verhaltensflexibilität hervor (Maclean, 1985).



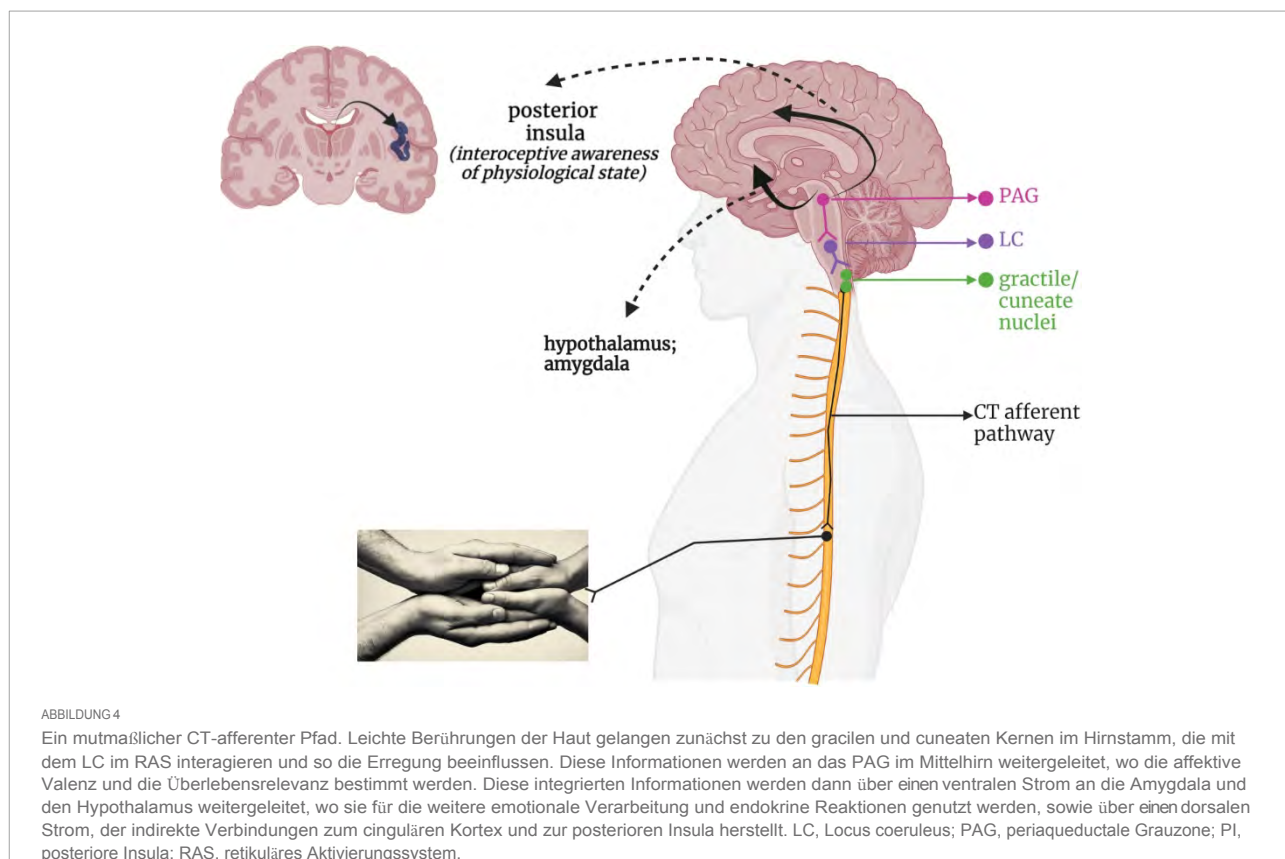
Trotz der allgemeinen Fokussierung auf den Neokortex als unser entwickeltes und „intelligentes“ Hauptsteuerungszentrum spielen subkortikale Regionen weiterhin eine entscheidende Rolle bei primitiven Überlebensfunktionen und der sensomotorischen Steuerung. Diese präreflexive, multisensorische Integrationsregion ist möglicherweise am stärksten von Überlebensbedrohungen betroffen, was zu Defiziten in den Regulationsfähigkeiten und zu posttraumatischen Symptomen führen kann (Perry und Hambrick, 2008; Perry, 2019). Ein neurodevelopmentaler und phylogenetischer Rahmen kontextualisiert die Diskrepanz zwischen den Aspekten eines Traumas, die artikuliert werden können, und denen, die im Hirnstamm und Körper gefangen bleiben oder präreflexiv erlebt werden.

Phylogenetische Entwicklung

Vestibuläres System

Selbst die primitivsten mobilen Organismen müssen vor schädlichen Reizen zurückweichen, ihre motorische Kontrolle und Orientierung aufrechterhalten

während sie sich in ihrer Umgebung bewegen, und reagieren auf äußere Bedrohungen entweder mit Bewegung oder mit einer Abwehrhaltung. Die vestibuläre Funktion entstand bei den frühen Wirbeltieren und ist vom Fisch bis zum Menschen weitgehend unverändert geblieben, im Gegensatz zu den Hörstrukturen und -netzwerken, die sich an das Leben an Land und die Dynamik der Säugetiere angepasst haben (Fritzsche et al., 2014; Lipovsek und Wingate, 2018). Die ipsilateralen vestibulospinalen und retikulospinalen Bahnen sind die ältesten motorischen Bahnen im menschlichen Körper und reichen bis in eine Zeit vor der Lateralisierung des Vorderhirns zurück (Vulliamoz et al., 2005; Mora et al., 2019). Der vestibulospinale Trakt hat seinen Ursprung in den vestibulären Kernen und steuert die Körperhaltung und das Gleichgewicht, während er den Muskeltonus reguliert (Akaike, 1983; Sengul und Watson, 2015). Beispielsweise sendet die beim Stolpern wahrgenommene lineare Beschleunigung einen erregenden Impuls über den vestibulospinalen Trakt, um die Streckmuskulatur zu aktivieren, die für Gleichgewichtsreaktionen und die Körperhaltung verantwortlich ist und reflexartig den Kopf und



Körper vor Stößen (Shinoda et al., 2006; McCall et al., 2017). Der retikulospinale Trakt hat seinen Ursprung in der pontinen und medullären retikulären Formation und unterstützt antizipatorische Haltungsreaktionen, die Regulierung des Muskeltonus und die autonome Regulation (Sengul und Watson, 2015). Effiziente Reflexreaktionen des Körpers haben sich entwickelt, um eine effiziente Bewegung im Raum aufrechtzuerhalten, was schließlich zu einem Gefühl der Handlungsfähigkeit über zielgerichtete Körperaktionen führt.

Somatosensorisches System

Die Funktion des Hautgewebes ist in gewisser Weise analog zu der des Gehirngewebes, da beide als Schnittstelle zwischen dem Körper und der Außenwelt dienen (Panksepp, 1998). Phylogenetisch gesehen ist die Aufnahme von Berührungen durch andere eine allgegenwärtige Erfahrung sowohl für aquatische als auch für terrestrische Arten. Fische, die sich von „Putzfischen“ von Ektoparasiten befreien lassen und taktile Stimulation suchen, weisen niedrigere Cortisolwerte auf und behalten ihre Motivation bei, eine „Nachbildung“ eines Putzfisches aufzusuchen, um taktile Stimulation an sich zu erfahren, was zeigt, dass taktile Stimulation allein physiologische Veränderungen bewirkt (Soares et al., 2011). Ein phylogenetisch älteres, aquatisches Berührungssystem könnte von sozialen Säugetieren im Einklang mit der evolutionären Kontinuität übernommen worden sein, um ein taktiles Gefühl von Sicherheit und Geborgenheit zu bewahren (Schirmer et al., 2013). Dies entspricht der unmyelinisierten Morphologie der Axone mit kleinem Durchmesser in den CT-afferenten Bahnen beim Menschen.

was auf eine phylogenetische Frühreife hindeutet. Taktile Reize dienen sowohl bei Säugetieren als auch bei Nicht-Säugetieren ubiquitär dazu, Stress abzubauen und die Gesundheit zu fördern (Caldji et al., 1998; Liu et al., 2000; Meaney, 2001; Raussi et al., 2003; Schmied et al., 2010; Soares et al., 2011), sodass die Evolution spezielle Rezeptoren und Signalwege entwickelt hat. Dies deutet darauf hin, dass die taktile Erleichterung der physiologischen Regulation und der Erholung von Angstzuständen in unseren evolutionären Anfängen begründet ist und somit Auswirkungen darauf hat, wie ursprüngliche Angst und überlebensorientierte Schaltkreise durch Traumata verändert werden können.

Ontogenetische Entwicklung

Vestibuläres System

Das Gleichgewichtssystem ist das erste Sinnesorgan, dessen Entwicklung *im Mutterleib* beginnt (Sidebotham, 1988; Blayney, 1997), und die Morphologie des Gleichgewichtsapparats ist innerhalb des ersten Schwangerschaftsmonats ausgereift (Nandi und Luxon, 2008; Jamon, 2014). Der Nervus vestibulocochlearis ist der erste Hirnnerv, dessen Myelinisierung abgeschlossen ist, und das System ist im achten Monat der intrauterinen Entwicklung vollständig ausgereift (Blayney, 1997; Nandi und Luxon, 2008). Obwohl morphologisch ausgereift, setzen sich die entwicklungsbedingten Veränderungen der vestibulären Verbindungen zum Kleinhirn und zum Kortex während der frühen Lebensphase fort, während Kinder lernen und wachsen (Lane et al., 2019). Zu Beginn

erkennt die Bewegungen der Mutter im Mutterleib, wobei die Bewegungen mit zunehmender Entwicklung weniger von außen gesteuert und mehr selbst initiiert werden. Das neurologisch gesunde Kind hat einen starken instinktiven Drang, die Körperbeherrschung gegen die Schwerkraft zu erlernen (von Hofsten, 2007), angefangen bei den wiederholten Kämpfen um die Kopfkontrolle im Säuglingsalter bis hin zu den freudigen Gleichgewichtstests auf dem Spielplatz in der frühen Kindheit. Diese zunehmende Körperbeherrschung gegen die Schwerkraft entwickelt sich parallel zum Handlungsbewusstsein des Kindes, also dem Gefühl, dass es seinen Körper als Objekt kontrollieren kann, das zu willkürlichen Handlungen fähig ist. Wir vermuten, dass die Wahrnehmung der Schwerkraft einen Anker für affektiv-somatische instinktive Vorgänge bildet. Diese Annahme stützt sich auf die ontogenetische Primazität, die der Entwicklung des vestibulären Systems in Verbindung mit seiner weitreichenden Vernetzung innerhalb des zentralen Nervensystems zukommt.

Somatosensorisches System

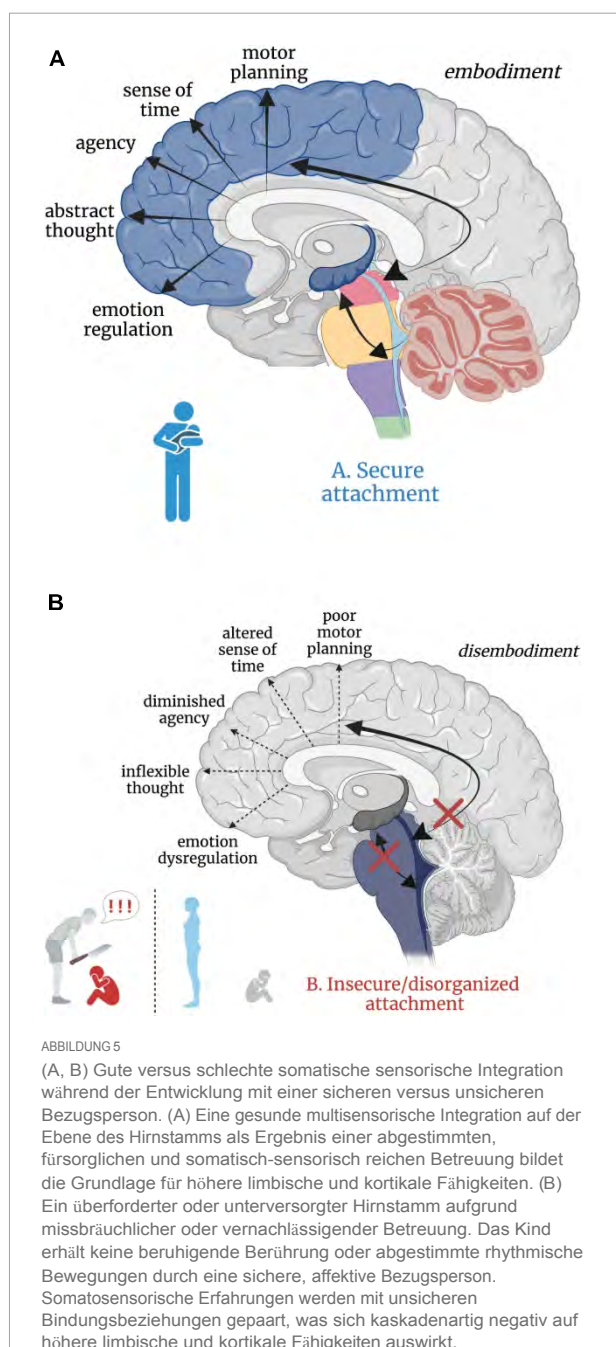
Die Quelle sowohl der Haut als auch des Nervensystems ist das embryonale Ektoderm, das sich in das Oberflächenektoderm und das Neuroektoderm differenziert (Montonen et al., 1998; Bond et al., 2012). Die Dichte der somatosensorischen Rezeptoren ist bei Föten im Vergleich zu Erwachsenen sehr hoch (Ashwell und Waite, 2012), was auf eine wesentliche Rolle bei der Steuerung der Neuroentwicklung hindeutet. Der Fötus reagiert bereits in der 8. Woche auf Berührungen (Lecanuet und Schaal, 2002; Hadders-Algra, 2007) und löst in der 12. Woche selbst initiierte Bewegungen aus (Kurjak et al., 2008). Das somatosensorische System des Fötus wird direkt und häufig durch die Bewegung des Fruchtwassers über die Lanugohaare des Fötus (Bystrova, 2009; Sasaki et al., 2013) sowie durch Selbstberührung (Piontelli, 2015) und Selbstbewegung innerhalb des begrenzten Raums der Gebärmutter (Marx und Nagy, 2015) stimuliert. Diese sensorisch-motorischen Interaktionen finden lange vor der Geburt des Säuglings statt, bevor er mit der Außenwelt interagieren kann. Die Erfahrung von Angenehmheit durch affektive Berührungen wurde mit einer verbesserten autonomen Regulation bei neugeborenen Menschen und Tieren in Verbindung gebracht (Morrison, 2016; van Puyvelde et al., 2019; Farroni et al., 2022), da kleine Kinder berührt und gewickelt werden müssen, um ihre Gefühlswelt zu regulieren. Während die Stildauer selbst unter Berücksichtigung der sozioökonomischen Lage mit einer verbesserten kognitiven Entwicklung von Kindern in Verbindung gebracht wurde (Pereyra-Elías et al., 2022), ist der Grad, in dem somatosensorische Reize in Verbindung mit der Ausschüttung von Oxytocin eine Rolle spielen, noch unklar, aber dennoch faszinierend. Schließlich schaffen affektive taktile Interaktionen in den ersten Monaten des extrauterinen Lebens und darüber hinaus eine wahrnehmbare und physische Grenze zwischen dem Selbst und anderen (Farroni et al., 2022).

Somatische sensorische Beiträge zu sicherer und unsicherer Bindung

Die Bindungstheorie (Bowlby, 1973) geht davon aus, dass Menschen über ein angeborenes neurobiologisches System verfügen, das in Zeiten körperlicher und emotionaler Not die Nähe und Fürsorge einer Bezugsperson sucht, was zu einem tief verwurzelten Gefühl der Sicherheit führt.

Sicherheit und Akzeptanz (Schore, 2003; Mikulincer et al., 2015). Die Entwicklung sicherer Bindungen zu einer primären Bezugsperson erfordert von Natur aus beruhigende und tröstende Sinnesreize. Die somatische „Co-Verkörperung“ mit der Mutter bildet die Grundlage für die Entstehung eines Selbstbewusstseins beim Kleinkind (Ciaunica et al., 2021a). Während der Entwicklung im Mutterleib erlebt der Fötus Co-Embodiment auf sensorischer Ebene, da seine physischen und regulatorischen Entwicklungsbedürfnisse von der Mutter und den intrauterinen Sinneserfahrungen während der pränatalen Entwicklung abhängig sind (Ponzo et al., 2018; Ciaunica et al., 2021a). In einer sicheren Bindungsbeziehung wird ein Säugling nach der Geburt durch eine auf ihn eingestimmte Bezugsperson durch somatische Sinneserfahrungen wie Schaukeln, Wickeln und Körperkontakt weiterhin mitreguliert. Die Bezugsperson löst intuitiv, welche rhythmischen Bewegungs- und Berührungsmuster die Unruhe ihres Kindes beruhigen, und reguliert instinktiv den physiologischen Zustand und die Gefühlswelt ihres Kindes, bis es sich selbst beruhigen kann. Hier sind somatosensorische Reize in die Steuerung und Regulierung der Erregung eingebettet (Balaban und Porter, 1998; Yates und Miller, 1998; Manzotti et al., 2019), da sie mit dem RAS verbunden sind und in ihn integriert sind. Tatsächlich verringert eine erhöhte Frequenz linearen und rhythmischen Schaukelns die Erregung bei Säuglingen (Vrugt und Pederson, 1973). Diese von der Bezugsperson unterstützte Regulierung des Säuglings, die als Co-Regulation oder Co-Homöostase bezeichnet wird (Ciaunica et al., 2021a), hilft dem Säugling nicht nur im Moment, sondern schafft auch eine sichere, verlässliche und geschützte Bindung. Durch diese körperliche und physiologische Abstimmung spüren Kinder, dass sie geschützt, geliebt und sicher sind. Spekulativ gesehen festigt diese Grundlage die Verbindung des Kindes zur Erde und sein Vertrauen, aus der co-regulierten Bindung hervorzutreten, begierig darauf, als eigenständiges und fähiges Wesen zu erkunden, das der sozialen Verbindung würdig ist, die für das Überleben und die Fortpflanzung im späteren Leben entscheidend ist. Bei einer sicheren Bindung entwickeln sich die höheren Bereiche des limbischen Systems und des Neokortex des Kindes auf der Grundlage einer integrierten und modulierten subkortikalen Schicht (Abbildung 5A).

Unsichere/desorganisierte Bindung Ergebnisse aus früh Erfahrungen mit negativ bewerteten, fehlenden oder inkonsistenten physischen und/oder emotionalen zwischenmenschlichen Interaktionen. Dabei kommt es zu physischen und emotionalen Verletzungen durch aktiven Missbrauch, Entzug von körperlichem Trost oder somatische Sinneserfahrungen in Verbindung mit negativen oder zurückhaltenden Emotionen. Obwohl es deutliche Unterschiede zwischen ängstlich-unsicheren, vermeidend-unsicheren und desorganisierten Bindungsmustern gibt, würde dies den Rahmen dieses Artikels sprengen (siehe stattdessen Bowlby, 1973; Ainsworth et al., 1978; Paetzold et al., 2015; Beeney et al., 2017) und betrachten daher alle nicht-sicheren Bindungsmuster hier als „unsicher“. Es wird angenommen, dass unsichere Bindungsmuster zu primären Bezugspersonen sich im Erwachsenenalter als dissoziative Reaktionsmuster (d. h. Erstarrung/tonische Immobilität) manifestieren (Ogawa et al., 1997; Schore, 2003; Lyons-Ruth et al., 2006), wobei emotionale Misshandlung oder Vernachlässigung die besten Prädiktoren für Dissoziation sind (Sar et al., 2009). Personen, die in ihrer frühen Kindheit Missbrauch oder Vernachlässigung durch eine Bezugsperson erfahren haben, können dissoziative Reaktionsmuster als Anpassungsmechanismus entwickeln.



, entkommen dem Stress ihrer Kindheit und weisen im Erwachsenenalter einen verringerten Oxytocinspiegel auf (Heim et al., 2009; Opacka-Juffry und Mohiyeddini, 2012; Bertsch et al., 2013), wodurch der Schutz vor Stress abnimmt und die Neigung, enge Beziehungen einzugehen, sinkt. Die Beziehung zwischen der Schwere frühkindlicher Traumata, der Genetik und Oxytocin hat sich jedoch als komplex erwiesen und erfordert weitere Untersuchungen (Chatzittofis et al., 2014; Myers et al., 2014; für eine Übersicht siehe Donadon et al., 2018). Aus neurobiologischer Sicht werden subkortikale sensorische Integrationsregionen, die für die Entwicklung höherer limbischer und kortikaler Strukturen entscheidend sind, durch

alarmierende und beunruhigende Sinneseindrücke, Mangel an sensorisch-affektiver Zuwendung oder Konflikte aufgrund der inkonsistenten Bereitstellung und Entzug sensorisch-affektiver Zuwendung in missbräuchlichen, vernachlässigenden oder unorganisierten Beziehungen zu Bezugspersonen. Wir stellen die Hypothese auf, dass unsichere Bindung sowohl eine somatosensorische Komponente als auch einen Kaskadeneffekt auf die ontogenetische Entwicklung der höheren Gehirnbereiche hat, die für die Emotionsregulation, die motorische Planung, das abstrakte Denken, das Zeitgefühl, die Handlungsfähigkeit, die Neugier und dynamische soziale Beziehungen wichtig sind (Abbildung 5B). Obwohl spekulativ, könnte eine abweichende somatosensorische Integration in Verbindung mit unsicheren Bindungsmustern die Grundlage für spätere psychiatrische Funktionsstörungen bilden und Aufschluss über den hohen Zusammenhang zwischen frühkindlichen Traumatisierungen mit unsicherer Bindung und der späteren Entwicklung von Psychopathologie und/oder PTBS geben (Roche et al., 1999; Besser und Neria, 2012; Mikulincer et al., 2015; Ogle et al., 2015; Woodhouse et al., 2015; für eine Übersicht siehe Marshall und Frazier, 2019).

Neurobiologie der somatischen Sinnesverarbeitung: Rolle des Hirnstamms und des Mittelhirns bei Erregung, Abwehrreaktionen und traumabedingten Symptomen

Während subkortikale Hirnregionen somatische und exterozeptive Sinnesinformationen integrieren, um eine kohärente Körperrepräsentation zu schaffen, sind sie an evolutionär konservierten Schaltkreisen zur Erkennung und Reaktion auf Bedrohungen beteiligt (Darwin, 1872; Adamo, 2012; Tovote et al., 2016; für eine Übersicht siehe Terpou et al., 2019b) sowie an instinktiven sozialen Interaktionen, die für das Überleben von Säugetieren notwendig sind. Da die somatischen sensorischen Systeme eine allgemeine Erfahrung des physischen Körpers vermitteln und gleichzeitig dessen Sicherheit und Lebensfähigkeit gewährleisten, sind sie in hohem Maße an der Reaktion des Körpers auf traumatische Ereignisse beteiligt. Veränderungen der Muskelspannung schützen den Körper vor Schaden, indem sie ihn entweder bewegungsunfähig machen oder erschlaffen lassen, um so der Entdeckung durch einen Raubtier oder überwältigend schmerzhaften Empfindungen vorzubeugen. Somatosensorische Rückmeldungen aus dem peripheren somatosensorischen System tragen zur Erkennung von Gefahren und zur Sicherheit bei, wobei Letzteres zur Aufrechterhaltung einer vom Mittelhirn gesteuerten, auf das Überleben ausgerichteten Regelschleife führt. Wir vermuten, dass neurobiologische Bahnen, die vom Soma ausgehen und durch vestibuläre und somatosensorische Rückmeldungen vermittelt werden, eine wichtige Rolle bei der Integration eingehender exterozeptiver sensorischer Reize (die mit der äußeren Umgebung zusammenhängen) und interozeptiver Reize (die mit den Eingeweiden und dem inneren physiologischen Zustand zusammenhängen) mit Kontextinformationen über Sicherheit oder potenzielle Gefahren auf der Ebene des Mittelhirns spielen. Die direkten Verbindungen dieser somatischen sensorischen Systeme zum Hirnstamm und zu mesencephalen Regionen beeinflussen die unbewusste Aufrechterhaltung der Homöostase und eine

Gefühl der relationalen Sicherheit mit unserer Umgebung und mit anderen.

Erregung

Wenn Traumatisierung stark durch eine gestörte Erregungsmodulation gekennzeichnet ist (Pitman et al., 1987; van der Kolk, 1987; Bryant et al., 2000; McMillen et al., 2000; Bryant, 2003; Risser et al., 2006; für eine Übersicht siehe Pole, 2007; Pitman et al., 2012), müssen die sensorisch-motorischen Beiträge zur Erregung unbedingt berücksichtigt werden. Das Erregungsniveau wird direkt von sensorischen Reizen beeinflusst, und die Reaktionen auf sensorische Reize werden wiederum von der Erregung beeinflusst, was auf eine untrennbare und bidirektionale Beziehung hindeutet. Das RAS, das aus zahlreichen Kernen besteht, erzeugt rohe Erregung und „Alarm“ hauptsächlich im Locus coeruleus (LC) und in den pedunculopontinen Kernen (PPN) (Berridge und Waterhouse, 2003; Aston-Jones und Cohen, 2005; Horn und Adamzyk, 2012; Pfaff et al., 2012) und steht in wechselseitiger Wechselwirkung mit den vestibulären Kernen des Hirnstamms (Yules et al., 1966; Pompeiano et al., 1984; Manzoni et al., 1989; de Cicco et al., 2018) und den somatosensorischen Kernen der dorsalen Säule (gracile und cuneate) (Guzmán-Flores et al., 1962; Odutola, 1977). Das für höhere emotionale und kognitive Prozesse erforderliche Maß an Aufmerksamkeit und Wachsamkeit wird dann durch den Thalamus vermittelt (LaBerge et al., 1992; Coull, 1997; Portas et al., 1998).

Sowohl Hyper- als auch Hypoarousal sind häufige Phänomene bei Traumatisierte Personen. Hyperarousal führt zu einer erhöhten sensorischen und emotionalen Reaktivität (Pfaff et al., 2012) und fällt unter die DSM-V-Diagnosekriterien für PTBS (American Psychiatric Association [APA], 2013). Alternativ kann eine verminderte Erregung zu der gedämpften Emotionalität und Hypo-Reaktivität gegenüber Reizen beitragen, die beim dissoziativen Subtyp offensichtlich sind (Frewen und Lanius, 2006; Ludäscher et al., 2007; Sack et al., 2012; D'Andrea et al., 2013; Thome et al., 2019). Personen mit PTBS + DS zeigen eine veränderte funktionelle Konnektivität im Ruhezustand (rsFC) zwischen dem PPN und der Amygdala und dem ventromedialen präfrontalen Kortex (vmPFC), und die rsFC zwischen dem PPN und dem vorderen Thalamus korreliert negativ mit Derealisations-/Depersonalisationssymptomen (Thome et al., 2019). Während eine erhöhte rsFC zwischen RAS und Amygdala sowie zwischen RAS und vmPFC auf eine verstärkte Bedrohungsverarbeitung hindeutet (Liddell et al., 2005; Williams et al., 2006; Lanius et al., 2017), könnte eine negative Beziehung zwischen der rsFC zwischen RAS und Thalamus und dissoziativen Symptomen auf eine gestörte Übertragung multimodaler sensorischer Informationen an den Kortex hinweisen. Wenn man dieses Ergebnis mit den Befunden einer verminderten rsFC zwischen den vestibulären Kernen und kortikalen Regionen bei PTBS + DS (Harricharan et al., 2017) zusammenführt, gelangt man zu der Hypothese, dass dissoziative Symptomatik mit einer kortikal-somatischen sensorischen Deafferentierung zusammenhängt, die zu einer Untererregung und einer veränderten Wahrnehmung des Körpers und seiner Umgebung führt. Stress oder durch Trauma auslösung hervorgerufene Dissoziation hat

wurde mit abgeschwächten psychophysiologischen Erregungsreaktionen bei traumatisierten Personen mit starken dissoziativen Symptomen in Verbindung gebracht (Griffin et al., 1997; Koopman et al., 2004; Sack et al., 2012; D'Andrea et al., 2013; für eine Übersicht siehe Boulet et al., 2022) sowie bei Personen mit psychiatrischen Erkrankungen, die in hohem Maße mit schweren frühkindlichen Traumatisierungen verbunden sind, darunter dissoziative Störungen (DD) (Schäfflein et al., 2018), Borderline-Persönlichkeitsstörungen (BPD) (Ebner-Priemer et al., 2005; Bichescu-Burian et al., 2018) und dissoziative Identitätsstörung (DID) (Williams et al., 2003; siehe Putnam et al., 1986 für eine Übersicht). Die Tendenzen zu Hyperarousal und Blunted Arousal bei PTBS bzw. PTBS + DS deuten auf eine psychophysiologische Manifestation der PTBS-Symptomatik und unterschiedliche Muster arousalbezogener neuronaler Schaltkreise bei nicht-dissoziativen und dissoziativen traumabedingten Störungen hin. Wichtig ist, dass bei traumatisierten Personen eine Mischung aus intermittierender Hyper- und Hypoarousal vorliegen kann, was auf weitgehend gestörte Arousal-Modulationsmuster hindeutet, die mit statistischen Forschungsmethoden, die sich auf physiologische oder selbst berichtete Daten zur Arousal konzentrieren oder diese mitteln, möglicherweise schwer zu erfassen sind.

Erregung kann durch rhythmische lineare vestibuläre Stimulation (Vrugt und Pederson, 1973; Pederson, 1975; Lubeck et al., 2020; für eine Übersicht siehe Sandler und Coren, 1981), tiefen Druck (Diego und Field, 2009; Reynolds et al., 2015) und leichte Berührungen (López-Solà et al., 2019; Reddan et al., 2020) im Rahmen der Sicherheit. Menschen suchen lineare somatische Sinneseindrücke in Form von Gehen, Radfahren und Laufen, um ihre „Nerven“ oder rasenden Gedanken zu beruhigen, und Berührungen von einem geliebten Menschen, um Stress abzubauen oder ihre Stimmung zu verbessern. Umgekehrt erhöhen plötzliche Beschleunigungen, Winkelbewegungen, Juckreiz, leichtes Krabbeln durch Insekten und Schmerzen die Erregung, um unsere Aufmerksamkeit auf eine potenziell gefährliche oder bedrohliche körperliche Situation zu lenken. Grundsätzlich dienen somatische Sinnesreize in erster Linie unserem Überleben und unserer Sicherheit, da ein Sturz auf den Schädel, der Biss einer giftigen Spinne oder die Trennung von einer primären Bezugsperson oder einer schützenden Erwachsenenbeziehung schwerwiegende Folgen haben können, was zu einer starken Verbindung mit den Erregungszentren führt. In einem suboptimalen Erregungszustand können wir nicht richtig funktionieren oder schlafen, was höhere Fähigkeiten wie Lernen, Gedächtnis und soziale Kognition beeinträchtigt (Siegel, 2001).

Muskeltonus, Körperhaltung und Orientierung gegenüber Bedrohung/Verbindung

Ein optimaler Grundzustand der Muskeltonizität, der durch die vestibulospinalen und retikulospinalen Bahnen innerviert wird, ermöglicht adaptive motorische Aktionen und Reaktionen. Bei hohem Stress oder Angst kommt es zu einer erhöhten Muskelspannung, um den Körper auf Kampf oder Flucht vorzubereiten (Abbildung 6). Wenn ein Tier eine überlebensorientierte Aktion vollständig ausführt, erhält das System vestibuläre und somatosensorische Rückmeldungen. Eine vereitelte

Eine unvollständige motorische Reaktion auf eine bedrohliche Situation könnte erklären, warum traumatisierte Menschen oft erleben, dass ihr Körper reflexartig in übertriebene motorische Reaktionsmuster und/oder Abwehrzustände wie tonische Immobilität oder Kollaps angesichts alltäglicher Stressoren oder Trauma-Auslöser verfällt. Übertrieben erhöhte Tonus und verminderte Körperhaltung führen zu einer tonischen Immobilität oder „Einfrierreaktion“, die bei Tieren (Webster et al., 1981; Fleischmann und Urca, 1988; Porro und Carli, 1988) und Menschen (Suarez und Gallup, 1979; Heidt et al., 2005; Marx et al., 2008) zeigen, die einer unmittelbaren Bedrohung ausgesetzt sind (für eine Übersicht siehe Terpou et al., 2019b). Diese Reaktion wird durch somatosensorische und vestibuläre Rückkopplung vermittelt (Klemm, 1971; Gallup, 1977; Fleischmann und Urca, 1988) und soll Raubtiere abschrecken, die darauf programmiert sind, Bewegungen ihrer Beute zu erkennen, und dem Tier ermöglichen, seine Umgebung zu überwachen und gegebenenfalls zu fliehen (Kozłowska et al., 2015). Tonische Immobilität wurde von Studienteilnehmern mit PTBS unter traumatischen Erinnerungen berichtet (Volchan et al., 2011; Fragkaki et al., 2016; de Kleine et al., 2018), was darauf hindeutet, dass traumatische Erinnerungen mit unbewussten Haltungsreaktionen verbunden bleiben. Tonische Immobilität kann bei Tieren durch artspezifische Formen wiederholter taktiler oder vestibulärer Stimulation hervorgerufen werden, darunter Inversion und somatosensorische Fixierung (Klemm, 1971; Webster et al., 1981; Fleischmann und Urca, 1988; Porro und Carli, 1988; für eine Übersicht siehe Kozłowska et al., 2015). Ebenso tritt tonische Immobilität beim Menschen häufiger unter angstauslösenden Bedingungen somatosensorischer Einschränkung auf, wie beispielsweise bei Vergewaltigungen (Suarez und Gallup, 1979; Heidt et al., 2005; Marx et al., 2008). Alternativ treten Hypoarousal und verminderter Muskeltonus während emotionaler Abschaltung oder bei vorgetäuschter Todstarne als passive Abwehrreaktion auf eine unausweichliche oder anhaltende Bedrohung auf (Hofer, 1970; Depaulis et al., 1994; Bracha, 2004). Hier verringern eine drastisch verminderte Erregung und Tonus das bewusste Erleben weiterer Verletzungen und psychischer Belastungen während unvermeidbarer oder anhaltender Angriffe, manchmal bis hin zu einer außerkörperlichen Erfahrung oder einem vollständigen Bewusstseinsverlust (Abbildung 7). Diese passiven Reaktionen sind wahrscheinlich, wenn die Traumatisierung chronisch ist oder wenn das Opfer in der Kindheit noch nicht in der Lage ist, sich selbst zu verteidigen, und die wahrgenommene Fluchtmöglichkeit gering ist (Nijenhuis et al., 1998b; van der Kolk, 2003; Schauer und Elbert, 2010; Krammer et al., 2016; Kratzer et al., 2018; für eine Übersicht siehe Foa und Hearst-Ikeda, 1996). Dementsprechend wird angenommen, dass Menschen mit traumabedingten dissoziativen Störungen eine top-down-Übermodulation der subkortikalen Gehirnaktivität aufweisen (Lanius et al., 2010b; Nicholson et al., 2017; Terpou et al., 2020), die vermutlich somatische Sinnesinformationen daran hindert, höhere Regionen zu erreichen, die an ihrer Integration in das Bewusstsein beteiligt sind.

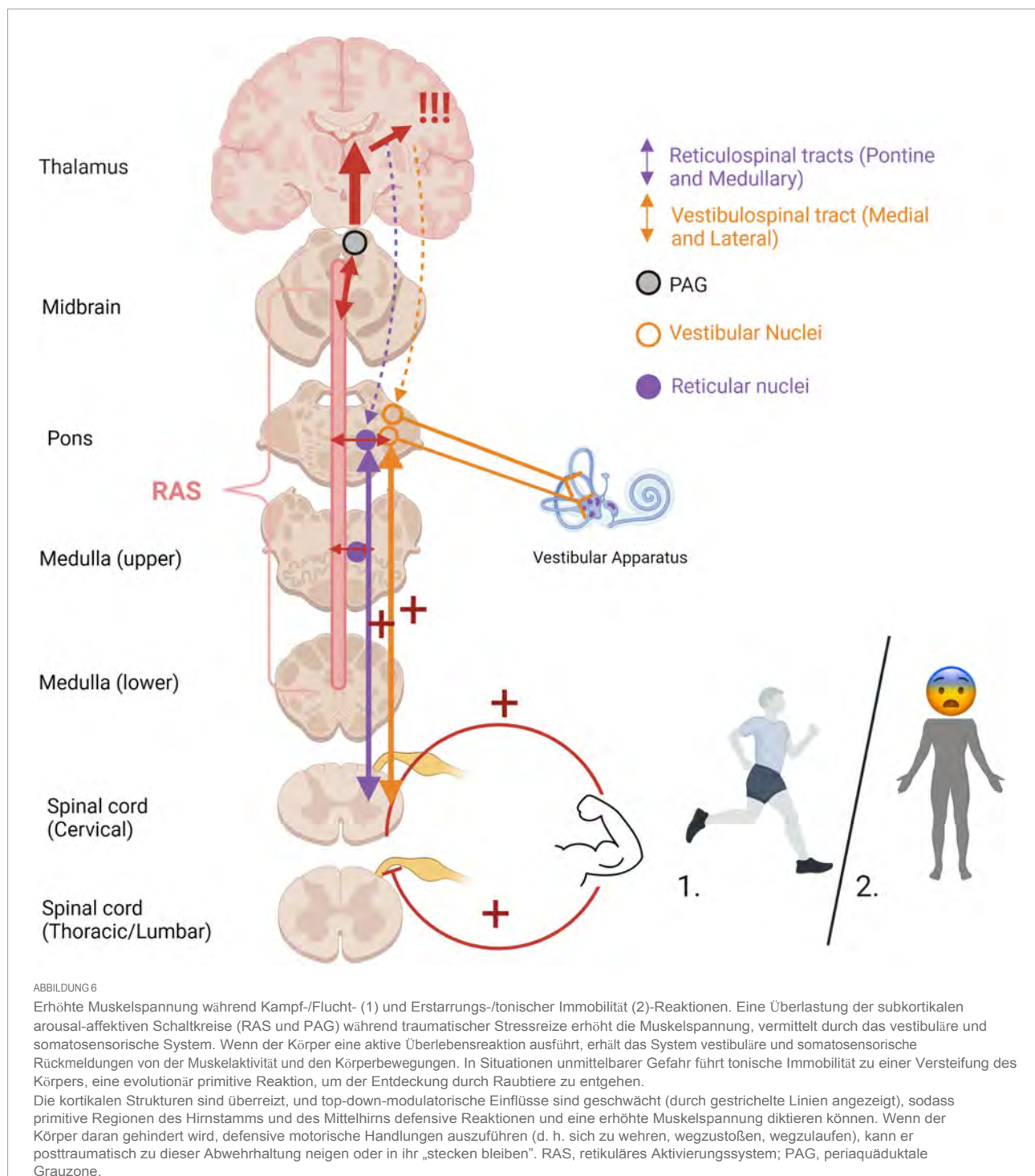
Die Superior colliculi (SC) des Tectum des Mittelhirns (Mesencephalon) sind leistungsstarke multisensorische Integrationszentren, die geschichtete topografische Karten des visuellen, auditorischen und somatosensorischen Systems enthalten (Meredith et al., 1992; Cuppini et al., 2018; Basso et al., 2021). Die SC sind am besten bekannt

für ihre Beteiligung an unbewussten Orientierungsreaktionen auf auffällige visuelle Reize (Dean et al., 1989; Grantyn et al., 2005; May, 2006; Horn und Adamzyk, 2012). Sie senden Afferenzen an okulomotorische Neuronen, die pontine und medulläre Retikularformation sowie an zervikale und obere thorakale Motoneuronen, um die Augen, den Kopf und den Hals zu Reizen hin oder von ihnen weg zu orientieren (May und Porter, 1992; Scudder et al., 1996; May, 2006). Wichtig ist, dass die SC aufsteigende somatosensorische Rückmeldungen aus dem spinotektalen (spinomesencephalen) Trakt (siehe Abbildung 3) erhalten und wechselseitige Verbindungen zu den vestibulären Kernen haben, die die Kopf- und Nackenmuskulatur innervieren (Rubelowski et al., 2013; Leong et al., 2019). Vestibuläre und propriozeptive Eingaben an den SC sind erforderlich, um die Kraft und Geschwindigkeit, die für eine schnelle und dennoch ergonomisch sinnvolle Orientierungsreaktion erforderlich sind, angemessen einzuschätzen. Diese Orientierungsreaktion ist auf instinktiv relevante sensorische Reize ausgerichtet, darunter bedrohliche und fürsorgliche zwischenmenschliche Kontakte (Dean et al., 1989), und spielt eine wichtige Rolle bei Annäherungs- und Abwehr-/Rückzugsreaktionen in der frühen Bindungsphase und bei traumatischen zwischenmenschlichen Dynamiken (Corrigan und Christie-Sands, 2020). Eine abweichende rsFC des SC wurde bei PTBS und PTBS + DS nachgewiesen, was auf unterschiedliche Muster der Abwehrreaktion bei dissoziativen Personen hindeutet (Olivé et al., 2018).

Insgesamt ist eine starke Beteiligung der somatischen Sinnesverarbeitung bei Abwehrhaltungen und motorischen Reaktionen auf traumatische Ereignisse wahrscheinlich. Nach einem Trauma können die somatischen Sinnessysteme ihre Rolle der Selbstschutz und Abwehr priorisieren und damit ihre Rolle bei der Orientierung gegenüber sozialen Kontakten und der Aufrechterhaltung einer kohärenten multisensorischen Erfahrung verdrängen. Darüber hinaus können ursprüngliche Abwehrreaktionen bestehen bleiben, wenn sich eine Person zwischen einer aktivierten (oder hypoaktivierten) autonomen Reaktion und dem Abschluss einer Selbstschutzmaßnahme „festgefahren“ fühlt (Ogden et al., 2006). Wenn der Körper nicht in der Lage ist, sich selbst (oder andere) zu schützen, wird das Handlungsbewusstsein des Individuums angegriffen und das Selbstvertrauen erschüttert. Wenn die Ausführung von Bewegungen zum Selbst- oder Fremdschutz gestört ist, können psychische Wutzustände oder Grübeln vom Körper abgekoppelt werden oder die körperliche Aktivierung kann vom Bewusstsein abgekoppelt werden (Corrigan und Christie-Sands, 2020). Dieser gestörte subkortikale Informationsfluss führt zu einem allgegenwärtigen Gefühl der Unzulänglichkeit und Wehrlosigkeit und kann dazu beitragen, dass unintegrierte traumatische Erinnerungen auf somatischer oder affektiver Ebene zum Ausdruck kommen (Janet, 1889; Nijenhuis et al., 1998b).

Die periaquäduktale Grauzone, Affekte und Abwehrreaktionen

Die periaquäduktale Grauzone (PAG), eine Region der grauen Substanz, die den Aquädukt des Mittelhirns umgibt, fungiert sowohl als sensorischer Relaisstation als auch als sensorisch-affektives Integrationszentrum, das subkortikale Abwehr- oder Annäherungsverhalten in Licht koordiniert.



von Kontextinformationen (Bandler und Depaulis, 1991; De Oca et al., 1998; Panksepp, 1998; Carrive und Morgan, 2012; für eine Übersicht siehe Kozłowska et al., 2015). Der dorsale PAG spielt eine Schlüsselrolle bei Kampf-/Flucht-Verteidigungsreaktionen (Brandão und Lovick, 2019), während der laterale/ventrolaterale PAG bei passiven Verteidigungsreaktionen wie tonischer Immobilität und emotionalem Abschalten/Zusammenbruch eine Rolle spielt (Keay und Bandler, 2001; Lovick und

Bandler, 2005; Koutsikou et al., 2014) sowie affektive, durch Berührung vermittelte soziale Verhaltensweisen bei Mäusen (Yu et al., 2022). Die PAG empfängt sensorische Informationen unter anderem aus der pontinen und medullären Retikularformation, dem Colliculus superior und dem Colliculus inferior sowie anderen Regionen des Hirnstamms und integriert diese mit positiven oder negativen affektiven Valenzen aus absteigenden limbischen Inputs aus der Amygdala, dem Hypothalamus, der Insula und dem posterioren Cingulum.

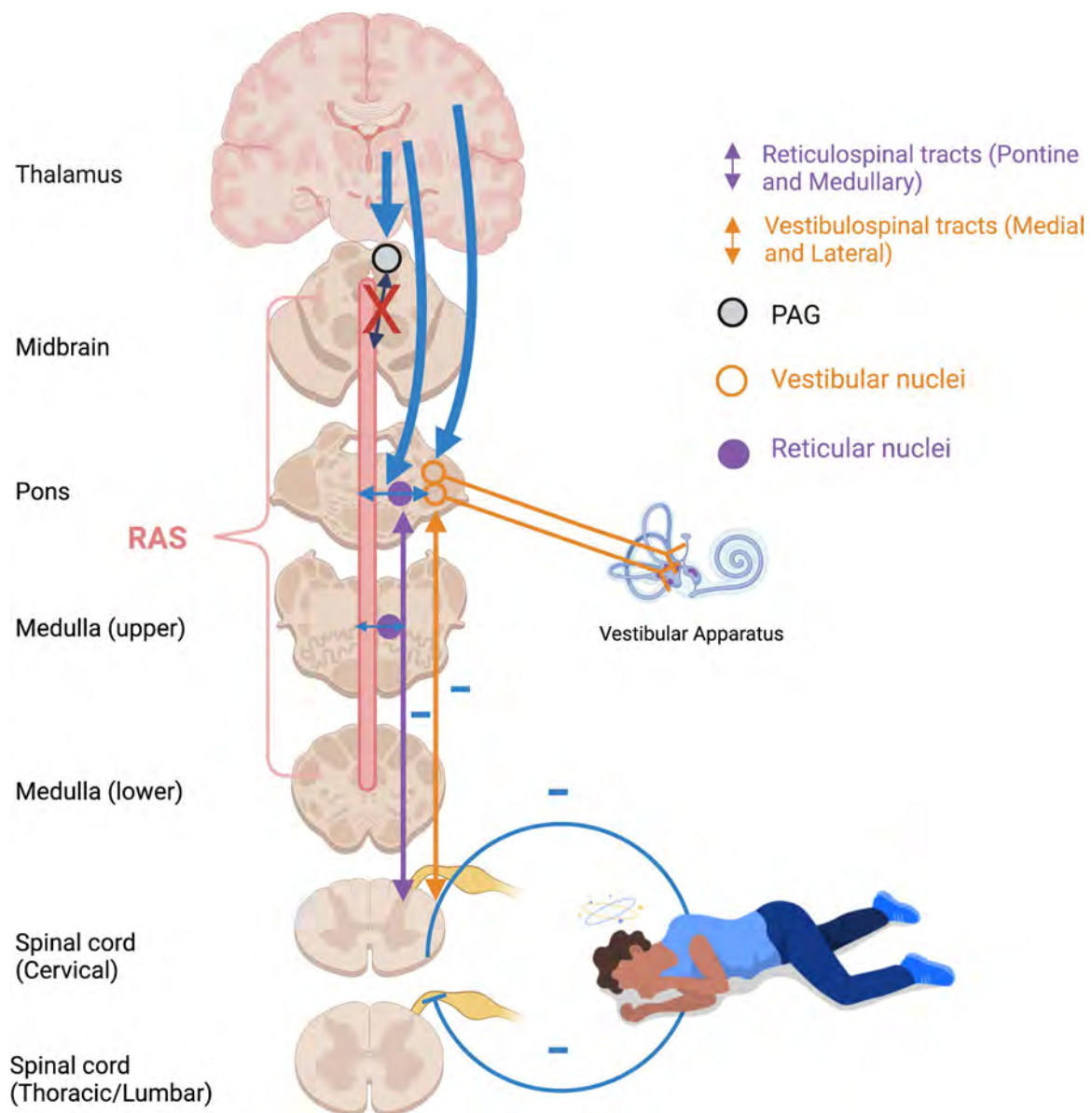


ABBILDUNG 7

Schlaffheit des Muskeltonus während emotionaler Abschaltung/Totstellen/dissoziativen Reaktionen. Eine Übermodulation der subkortikalen Aktivierung durch höhere Strukturen (dicke blaue Pfeile) als adaptive Abwehrreaktion auf wiederholten traumatischen Stress führt zu einer verminderten Erregung und einer Schwächung der vestibulären Efferenzen zur Streckmuskulatur. Rückkopplungen von deafferentierten, schlaffen Muskeln erzeugen eine somatosensorisch-vestibuläre Rückkopplungsschleife, die unbewusst eine kollabierte, dissoziierte Körperhaltung und einen hypoarousierten Zustand aufrechterhält. RAS: retikuläres Aktivierungssystem;

PAG: periaquäduktale graue Substanz.

(Carrive und Morgan, 2012). Emotionsgeladene sensorische Informationen werden dann über den Thalamus und den Hypothalamus an kortikale Strukturen weitergeleitet (Damasio, 1998; Buck, 1999; Northoff et al., 2006; Hurley et al., 2010; Carrive und Morgan, 2012; Koelsch et al., 2015). Wichtig ist, dass die PAG Informationen an die Insula und den anterioren cingulären Kortex weiterleitet, wodurch das Salience-Netzwerk (SN) entsteht (siehe Abschnitt „PAG und das Salience-Netzwerk“) und zur interozeptiven und emotionalen Wahrnehmung beiträgt (Craig, 2003, 2009; Critchley et al., 2004). Top-down

Projektionen zum PAG dienen dazu, die Erregung nach einer kontextuellen Bewertung zu modulieren und die Homöostase aufrechtzuerhalten (Critchley et al., 2004; Wiens, 2005; Barrett und Simmons, 2015). Insbesondere ist die Amygdala über einen absteigenden Amygdalo-Hypothalamus-PAG-Kreislauf an konditionierten Angstreaktionen beteiligt, den Panksepp (2000) als FEAR-System definierte, eines der grundlegenden affektiven Rohsysteme, die im PAG entstehen. Top-down-Einflüsse aus dem Hypothalamus könnten auch an der Konditionierung positiver emotionaler Erfahrungen beteiligt sein, wie z. B.

Fürsorge (Panksepp und Trevarthen, 2009; Yu et al., 2022). Insgesamt verarbeitet die PAG eingehende sensorische Reize mit Affekten, um festzustellen, ob eine Umgebung oder ein anderes Tier sicher oder bedrohlich ist. Beispielsweise löst eine leichte Berührung durch einen romantischen Partner zu Hause eine ganz andere physiologische und emotionale Reaktion aus als eine leichte Berührung beim alleinigen Spaziergang durch eine dunkle Gasse. Ebenso reicht aufgrund einer früheren Erfahrung mit einem Überfall in einer dunklen Gasse bereits der Kontext einer Gasse oder ein Griff an den Arm aus, um den Amygdalo-Hypothalamus-PAG-Angstkreislauf zu aktivieren. Zusammengefasst kann eine Sensibilisierung auftreten, wenn ein Reiz oder eine Konstellation von Reizen, die während eines früheren Ereignisses erlebt wurden, eine somatische und emotionale Reaktion hervorrufen und entweder defensives oder palliatives, prosoziales Verhalten begünstigen (Anagnostaras und Robinson, 1996; Yehuda et al., 1998; Milligan-Saville et al., 2017; für eine Übersicht siehe Perry et al., 1995).

Periaquäduktale Grauzone und das Salienz-Netzwerk

Der PAG ist ein Knotenpunkt des Salience Network (SN), einem intrinsischen Konnektivitätsnetzwerk, das aktiviert wird, wenn unerwartete, intensive oder instinktiv relevante sensorische oder emotionale Reize auftreten (Menon, 2015). Das SN wird aktiviert, wenn sensorische Reize aus niedrigeren Ebenen einen Schwellenwert erreichen, der unsere Aufmerksamkeit auf sich lenkt. Das SN spielt auch eine Rolle beim adaptiven Wechsel zwischen dem zentralen Exekutivnetzwerk (CEN), das an fokussierten Aufmerksamkeitszuständen beteiligt ist, und dem Default Mode Network (DMN), das während introspektiver, selbstbezogener Gedanken und sozial-emotionaler Prozesse aktiv ist (Amodio und Frith, 2006; Sridharan et al., 2008; Menon und Uddin, 2010; Spreng und Grady, 2010; Menon, 2015). Bei Personen mit PTBS wurde eine Hyperaktivierung und Hyperkonnektivität des SN festgestellt (Thome et al., 2014; Abdallah et al., 2019; für eine Übersicht siehe Akiki et al., 2017) sowie eine verminderte Kohärenz im gesamten DMN (Bluhm et al., 2009; Lanius et al., 2010a; Sripada et al., 2012; für eine Übersicht siehe Akiki et al., 2017; Lanius et al., 2020). Hypothetisch könnte jede Form von auffälliger sensorischer Stimulation, einschließlich leichter Bewegungen, lauter Geräusche oder unerwarteter Berührungen, eine erhöhte Erregungsreaktion innerhalb eines schnellen PAG-vermittelten Abwehrmechanismus auslösen, der durch den Empfang höherer Kontextualisierung kurzgeschlossen wird. Alternativ können Personen mit dissoziativen Symptomen eine top-down-Übermodulation des PAG als Abwehrmechanismus erleben, was zu einer Unterreaktion auf auffällige sensorische Reize und emotionale Taubheit führt. Personen mit PTBS zeigen eine Hyperaktivierung des PAG als Reaktion auf direkten Augenkontakt (Steuwe et al., 2014) sowie auf unterschwellige Bedrohungsreize (Terpou et al., 2019a). Personen mit PTBS zeigen eine erhöhte rsFC der PAG mit der anterioren Insula und dem anterioren Cingulum, den Hauptknotenpunkten des SN (Harricharan et al., 2016). Alternativ zeigten Personen mit PTBS + DS eine erhöhte funktionelle Konnektivität der v/l PAG mit OP2 und TPJ, den primären vestibulär-multisensorischen Verarbeitungsregionen (Ibitoye et al., 2022).

verbunden mit Depersonalisationssymptomen (Lanius et al., 2005; Harricharan et al., 2017).

Trauma: Ein Angriff auf die Sinne

Wenn ein traumatisches Ereignis eine wahrnehmbare Bedrohung für die eigene körperliche Unversehrtheit oder die eines anderen darstellt und dabei Gefühle extremer Angst, Hilflosigkeit oder Entsetzen hervorruft (American Psychiatric Association [APA], 2013), kann es auch als negativ bewertete multisensorische Erfahrung – als Angriff auf die Sinne – verstanden werden. Jede Form von traumatischem Ereignis ist eine stark erregende und affektive multisensorische Erfahrung, die sich somit auf die unteren Bereiche des Gehirns auswirkt. Ein Soldat im Kampfeinsatz beispielsweise erlebt sengende Hitze auf der Haut, groteske Bilder auf der Netzhaut und erschütternde interozeptive Empfindungen, wenn ein Kamerad nicht gerettet werden kann; ein Vergewaltigungsopfer erlebt aversive Berührungen, aufgezwungene Körperbewegungen und somatosensorische Einschränkungen; ein Kind, das von einer Bezugsperson geschlagen wird, empfindet körperliche Schmerzen, sieht den Ausdruck von Wut im Gesicht der Bezugsperson und spürt, wie sein Herz rast und es nicht fliehen kann. Im Falle chronischer emotionaler Vernachlässigung oder Verlassenheit in der Kindheit besteht die Bedrohung des Überlebens in der Leere vorhersehbarer, für die Entwicklung entscheidender Sinneserfahrungen wie synchroner Bewegungen, Berührungen und Wärme. Zusammengefasst interagieren multisensorische Integrationsprozesse auf der Ebene des Hirnstamms, die normalerweise unsere Erfahrungen in der gegenwärtigen Umgebung und im physiologischen Zustand des Körpers verankern, mit rohen Affekten im PAG und erzeugen eine überwältigende, aversive Erfahrung. Ob ein hochstressiges Ereignis adaptiv bewältigt oder moduliert werden kann, hängt möglicherweise von den multisensorisch-affektiv gebundenen Bindungserfahrungen des Einzelnen in seiner Vergangenheit ab. Da extremer Stress das angeborene Bindungssystem eines Menschen aktiviert (Bowlby, 1973), führt die Unfähigkeit, aufgrund einer Geschichte unsicherer Bindung und somatischer sensorischer Desintegration die Co-Regulierung durch andere zu suchen oder neuronale Schaltkreise zu aktivieren, die mit Selbstregulierungsmechanismen in Verbindung stehen, zu anhaltenden traumabedingten Symptomen. In extremeren Fällen, in denen die Person tonische Immobilität oder emotionale Abschottung erlebt, wird ein sensorisch-motorischer Aktionsplan zum Überleben vereitelt und die Absicht, Überlebensbedürfnisse zu befriedigen, wird von der erwarteten oder beabsichtigten Handlung abgekoppelt. Diese sensorisch-motorische Diskrepanz wird vom Körper als unzureichende Reaktion auf eine existenzielle Bedrohung empfunden (Fischer und Riedesser, 1999; Sar und Öztürk, 2008) und entspricht einem gestörten Gefühl der Handlungsfähigkeit und der Verbundenheit mit dem Körper bzw. des Vertrauens in den Körper.

Sichere/unsichere Bindung als Puffer gegen/Veranlagung für traumabedingten Störungen

Eine solide subkortikale somatosensorische Integration aufgrund einer sicheren Bindungsgeschichte kann als Puffer gegen langfristige Folgen eines Traumas wirken. Eine Person mit einer Vorgeschichte

Eine sichere Bindung in kritischen Entwicklungsphasen versetzt den Menschen besser in die Lage, sensorischen und affektiven Stress durch eine fließende integrative Informationsverarbeitung von unten nach oben und von oben nach unten zu tolerieren und nach Stressoren zu einer soliden Grundfunktion zurückzukehren (Dieperink et al., 2001; Mikulincer et al., 2015). Eine destabilisierte somatosensorische Verarbeitung in Verbindung mit einer unsicheren Bindungsgeschichte kann jedoch dazu führen, dass die Person anfällig für Stress und abweichende neuronale Umstrukturierungen nach einem Trauma ist. Darüber hinaus können traumatische Erfahrungen Bindungsunsicherheiten und die Neigung zu defensiven (im Gegensatz zu verbindungsSuchenden) Reaktionen verstärken (Alexander, 1993; Muller und Rosenkranz, 2009; Mikulincer et al., 2015). Personen mit unsicheren Bindungsstilen zeigen eine erhöhte Schwere psychiatrischer Symptome und PTBS-Symptome (Mikulincer et al., 1993, 1999; Solomon et al., 1998; Dieperink et al., 2001; Zakin et al., 2003; Declercq und Willemsen, 2006; Fraley et al., 2006; Ghafoori et al., 2008; Bogaerts et al., 2009; Midolo et al., 2020), und der Bindungsstil hat sich als vermittelnd erwiesen (Roche et al., 1999; Shapiro und Levendosky, 1999; Twaite und Rodriguez-Srednicki, 2004; Sandberg et al., 2010) und moderierende (Sandberg, 2010; Scott und Babcock, 2010) Variable zwischen traumatischen Kindheitserfahrungen und psychischen Belastungen erwiesen. Die wiederholte Unfähigkeit, während kritischer Phasen der neurologischen Entwicklung zu kämpfen, zu fliehen oder physische und emotionale Sicherheit zu erfahren, führt zu einer Überaktivierung des Hirnstamms und des Mittelhirns, die keine Möglichkeit zur Regulierung haben, was Kaskadeneffekte auf höhere Fähigkeiten und eine Anfälligkeit für die Entwicklung traumabedingter Dysfunktionen zur Folge hat (Abbildung 8).

Zur Abwehr: Neuronale Schaltkreise bei Traumata

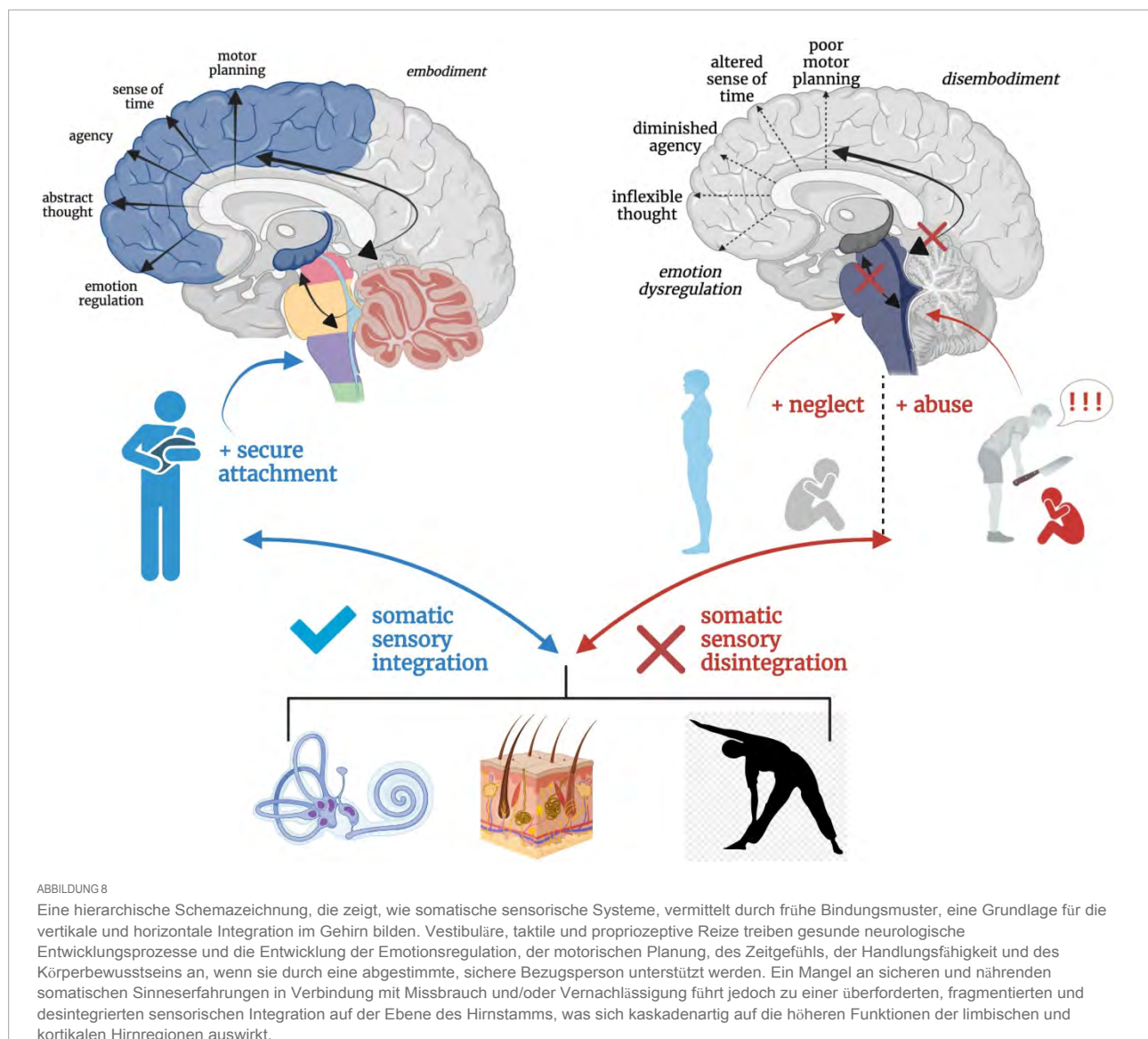
Wenn sensorische Reize als bedrohlich interpretiert werden, kann eine verminderte Integration oder „Kommunikation“ zwischen neokortikalen und subkortikalen Regionen zu kortikalen und subkortikalen „Schleifen“ führen, die ein Eigenleben entwickeln. Eine subkortikale Schleife vom Körper zum Mittelhirn und zurück kurzschließt die frontalen Regionen aus Effizienzgründen und bereitet die traumatisierte Person auf schnelle Abwehrreaktionen vor (Lanius et al., 2017). Kortiko-thalamo-kortikale Schaltkreise können zu sich selbst perpetuierenden Zyklen von Grübeln, obsessiven Gedanken und einem hohlen Körpergefühl führen (Corrigan und Christie-Sands, 2020). In diesem Zusammenhang haben sich Menschen mit traumabedingten dissoziativen Störungen möglicherweise an chronische Traumatisierung angepasst, indem sie niedrigere Überlebensreaktionen unterdrücken und eine kortiko-kortikale Hyperkonnektivität aufrechterhalten, was zu einer Entkörperlichung und einem Mangel an Verbindung zu rohen Emotionen und sensorimotorischen Erfahrungen führt. Tatsächlich wurden vorgelagerte Veränderungen der funktionellen Konnektivität auf der Ebene der vestibulären Kerne (Harricharan et al., 2017), PAG (Harricharan et al., 2016), superior colliculi (Olivé et al., 2018), RAS (Thome et al., 2019) und Thalamus (Terpou et al., 2018) festgestellt, was die weitreichenden, kaskadenartigen Auswirkungen von Traumata auf die vertikale und damit horizontale Konnektivität im Gehirn widerspiegelt.

Zu viel oder zu wenig fühlen: Über- und Untermodulation

Ein massiv hyperaktivierter Hirnstamm und ein enormes Gefühl der Angst führen zu anhaltenden Störungen der physiologischen Homöostase und übertriebenen Abwehrreaktionen. Bei PTBS haben kortikale Strukturen Schwierigkeiten, eingehende sensorische und emotionale Reize zu modulieren, was zu einer chronischen Übererregung beiträgt (Lanius et al., 2010b). Ohne ein geerdetes, stabiles und physiologisch reguliertes *Soma*, das durch somatische sensorische Integration entsteht, können exterozeptive Reize wie helles Licht, plötzliche Geräusche und unerwartete Berührungen das SN überaktivieren, das DMN stören und das multisensorische integrative Gleichgewicht aus dem Lot bringen (Abbildung 9A). Hier „fühlt man zu viel“ und es fehlt die Fähigkeit zur Selbstregulierung, was zu Aggression, emotionaler/körperlicher Überforderung und übermäßiger Schreckhaftigkeit führt. Alternativ tritt bei PTBS + DS eine chronische Abkopplung von Körperempfindungen und Emotionen in Verbindung mit schwankender Untererregung auf. In einem verzweifelten Versuch, chronisch überwältigende Gefühle abzuschwächen, entsteht ein Teufelskreis aus Überforderung und Abschottung. Eine Übermodulation der Erregung und des Affekts durch präfrontale Strukturen dämpft Sinneserfahrungen als Schutzmechanismus, was zu emotionaler Taubheit oder einem Gefühl der „inneren Leere“ führt (Lanius et al., 2010b) (Abbildung 9B). Darüber hinaus kann eine chronische Traumatisierung in der Kindheit die Entwicklung der SN- und DMN-Schaltkreise verändern, wodurch stark aktivierende oder bedrohliche sensorische Reize als vertraut oder normal empfunden werden (Lanius et al., 2020). Diese Personen versuchen möglicherweise, das SN zu aktivieren und so durch intensive oder ursprünglich bedrohliche somatosensorische Erfahrungen wie Autorennen, Extremsportarten und promiskuitives Sexualverhalten Zugang zum DMN zu erlangen (van der Kolk, 1989, 2015; Lanius et al., 2020). Bei schwerer und lebenslanger Übermodulation fühlt sich jede körperliche Empfindung fremd an und droht, den kortikalen Abwehrmechanismus zu überfluten, der das Gehirn vor Überforderung schützen soll. Menschen, die von körperlichen Empfindungen überwältigt sind, meiden möglicherweise bestimmte Umgebungen, körperliche Aktivitäten und Intimität, die zu starke Empfindungen auslösen. Die Berücksichtigung präreflexiver sensorimotorischer Hirnstammregionen bei therapeutischen Versuchen, die Fähigkeit zu Sicherheit und Vertrauen in den Körper wiederherzustellen oder im Falle chronischer Kindheitstraumata in erster Linie aufzubauen, ist von entscheidender Bedeutung.

Das Selbstgefühl in Gesundheit und Trauma aus der Perspektive der sensorischen Verarbeitung

Die Erfahrung, im eigenen Körper zu wohnen, oder *Embodiment*, ist eine unbeschreibliche, unbewusste Wahrnehmung, die in sensorimotorischen Prozessen verwurzelt ist (Ciaunica et al., 2021a). Embodiment ist ein Zustand, in dem der Geist im physischen Raum orientiert ist,

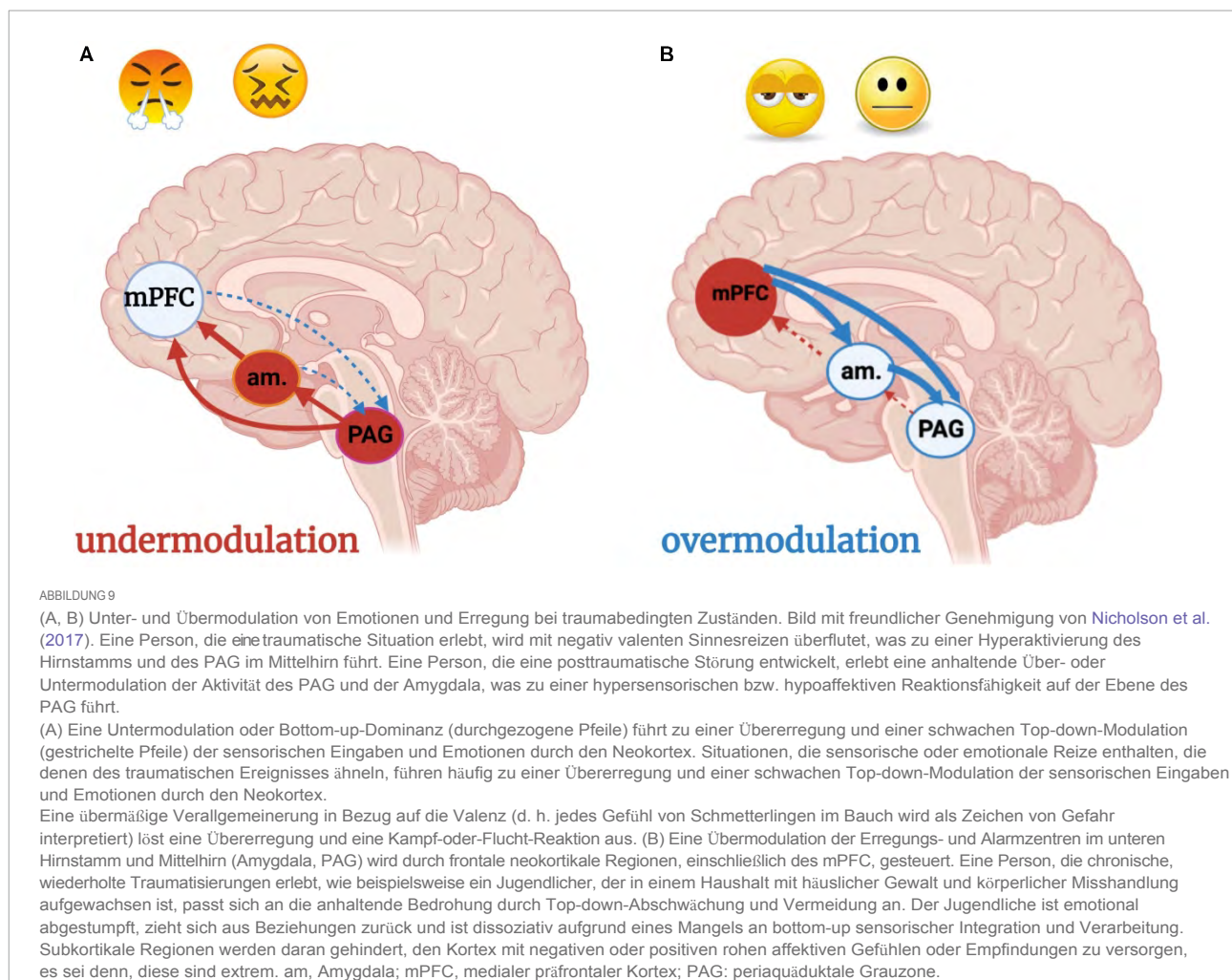


Dies führt zu einer Ich-Perspektive (Lenggenhager et al., 2006, 2007; Blanke und Metzinger, 2009). Diese räumliche Vereinigung des Geistes mit dem physischen Körper (Ferrè et al., 2014) bildet einen grundlegenden Bezugspunkt für höhere kortikale Funktionen, da sie unsere Aufmerksamkeit und Absichten in willentlichen Gedanken und Handlungen lenkt (Panksepp, 1998). Letztendlich gibt sie uns einen Ankerpunkt dafür, wer wir sind, wo wir sind und was wir wollen.

Somatische sensorische Beiträge zum Selbstgefühl

Die somatischen sensorischen Systeme gelten als grundlegend für das einfachste oder „minimale“ Selbst, da es sich auf die physische Welt bezieht (Panksepp und Northoff, 2009; Metzinger, 2013). Das kindliche

ko-verkörperte Selbst steht in Beziehung zur Schwerkraft und zwischenmenschlicher Berührung und bildet die Grundlage für ein handlungsfähiges, separates Selbst, das im physischen Körper verankert ist (was mit „mir“ geschieht – ich bewege mich, ich werde berührt) (Fotopoulou und Tsakiris, 2017; Crucianelli und Filippetti, 2020; Ciaunica et al., 2021a). Körperliche Bewegung, die vestibuläres und somatosensorisches Feedback erfordert, erzeugt ein Gefühl für das körperliche Selbst (Ferrè und Haggard, 2015). Dieses subkortikale, selbstgenerierende System ist allen Spezies gemeinsam und bildet die Grundlage für höhere Formen des Selbstbewusstseins beim Menschen (Panksepp und Northoff, 2009). Dies wird durch die Tatsache bestätigt, dass die Entfernung der Großhirnrinde bei jungen Säugetieren offenbar weder die sensomotorische Kohärenz noch die grundlegenden autonomen Prozesse oder die rohen affektiven Reaktionen beeinträchtigt, die für ein Selbstbewusstsein auf der Ebene des Hirnstamms erforderlich sind (Kolb und Tees, 1990; Panksepp et al., 1994; Shewmon et al., 1999; Panksepp, 2005; Merker, 2007). Darüber hinaus haben Manipulationen der somatischen Sinneseingaben bei gesunden Erwachsenen kaskadierende



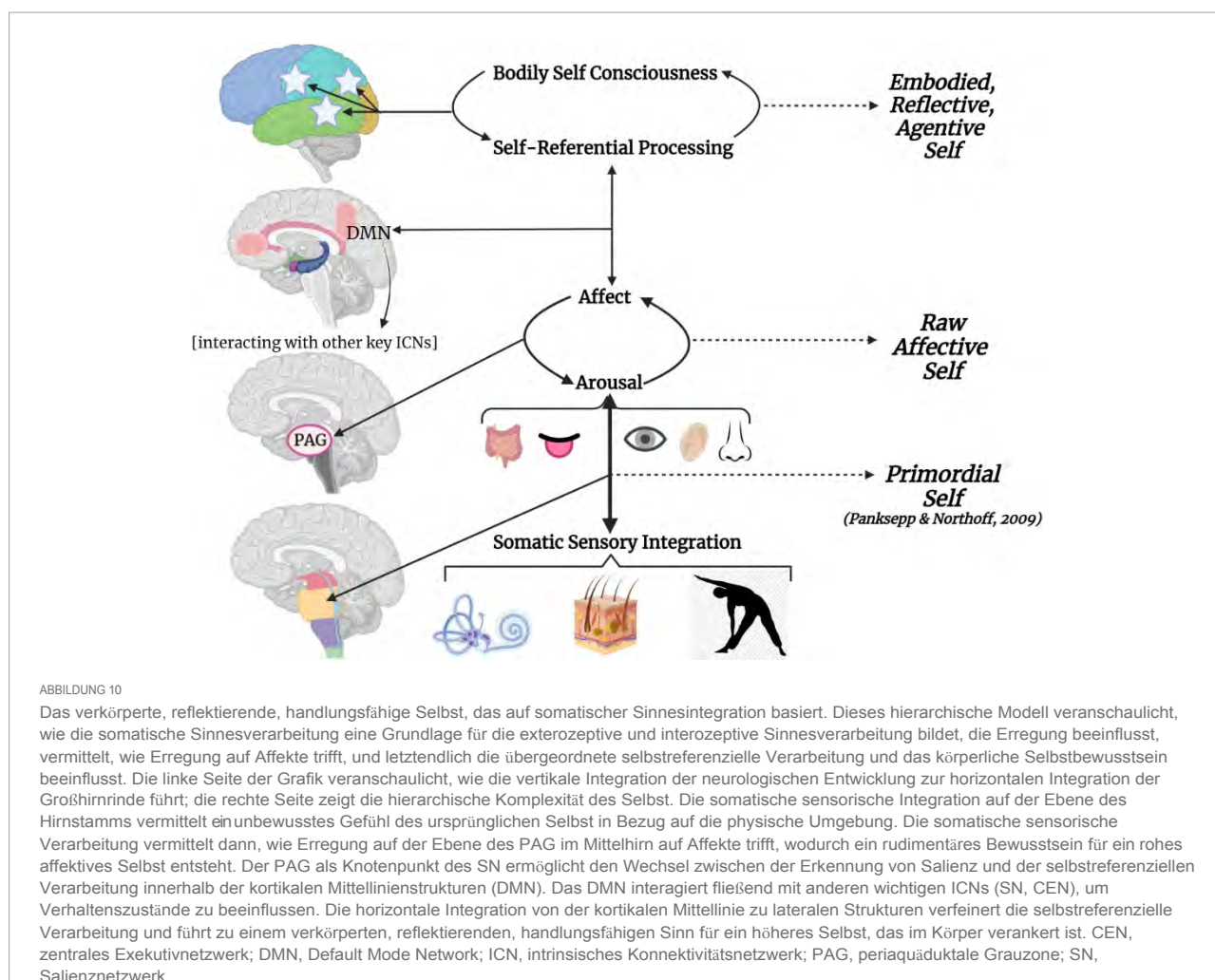
Auswirkungen auf höhere selbstbezogene Konstrukte wie Handlungsfähigkeit ([Synofzik et al., 2008](#); [Lopez et al., 2012](#); [Lenggenhager und Lopez, 2015](#)), Verkörperung ([Schwabe und Blanke, 2008](#); [Ferrè et al., 2014](#); [Macauda et al., 2015](#); [Lopez, 2016](#); [Lopez et al., 2018](#)), Selbst-Andere-Unterscheidung und Ich-Perspektive ([Ferrè et al., 2014](#)) sowie körperliches Selbstbewusstsein ([Lenggenhager et al., 2006, 2012](#); [Blanke, 2012](#)).

Basierend auf früheren Arbeiten von [Panksepp und Northoff \(2009\)](#) sowie [Ferrè und Haggard \(2016\)](#) schlagen wir ein hierarchisches Modell vor, das darstellt, wie somatische Sinnesinformationen zur ursprünglichen Selbstwahrnehmung beitragen und wie diese die Grundlage für höhere Formen des affektiven und verkörperten Selbst bildet ([Abbildung 10](#)). Sensorische Integrationsprozesse beeinflussen die Erregung und treffen im PAG auf Affekte. Der PAG als Knotenpunkt des SN ermöglicht den Wechsel zwischen Salienzenerkennung und selbstreferenzieller Verarbeitung innerhalb der kortikalen Mittellinienstrukturen (DMN) ([Menon, 2015](#)). Diese Mittellinienstrukturen sind an Selbstreflexion, autobiografischer Gedächtnisverarbeitung und höherer emotionaler Verarbeitung und Regulierung beteiligt ([Northoff et al., 2006](#); [Tsakiris, 2010](#)). Aus den Feinheiten des lateralen Neokortex entsteht somit ein abstraktes und subjektives Selbst, da dieser sowohl mit medialeren

und unteren Bereichen des Gehirns. Ohne eine integrierte somatische Sinnesgrundlage ist abstraktes Wissen über den Körper als physischer und emotionaler Akteur, über den man Kontrolle hat, anfällig für Störungen ([Longo et al., 2008, 2009](#); [Ferrè und Haggard, 2015, 2016](#)). Angesichts der bei traumatisierten Personen offensichtlichen Funktionsstörungen der Erregungsmodulation, der Emotionsregulation, des Selbstbewusstseins und der SN/DMN-Konnektivität halten wir dieses Modell für besonders relevant für die Frage, wie somatosensorische Verarbeitung zu traumabedingten Symptomen beitragen kann.

Trauma und das entkörperlichte Selbst

Eine unbeschreibliche Entfremdung vom Selbstgefühl wird bei PTBS häufig beschrieben, beispielsweise mit Aussagen wie „Ich bin nicht ich selbst“ und „Ich fühle mich wie ein Objekt, nicht wie ein Mensch“ ([Foa et al., 1999](#); [Bluhm et al., 2009](#); [Lanius et al., 2011, 2020](#)). Erlebnisse tiefer Emotionen und das Gefühl, fest im Leben zu stehen, sozial verbunden und/oder emotional intuitiv zu sein, sind nach einem Trauma oft abgeschwächt oder gehen vollständig verloren. Ein Trauma erzeugt das Gefühl, dass der eigene Körper nicht sicher ist, nicht unter der eigenen Kontrolle steht und/oder e i n



Ein Hexenkessel aus Ekel und Scham – insbesondere wenn diese chronisch, zwischenmenschlich und früh auftreten (Frewen und Lanius, 2015). Traumatische dissoziative Symptome manifestieren sich in schweren Verzerrungen der Wahrnehmung und Erfahrung des körperlichen Selbst in Bezug auf die Außenwelt und korrespondieren oft mit Traumata in kritischen Phasen der sensomotorischen Entwicklung (van der Hart et al., 2005; van der Kolk, 2005; Schmahl et al., 2010). Ohne eine angemessene somatische sensorische Integration wissen wir nicht, wo unser Körper beginnt und wo er endet; Aussagen wie „Ich fühle mich, als wäre ich außerhalb meines Körpers“ und „Ich habe das Gefühl, dass mein Körper keine Grenzen hat“ verdeutlichen, dass Veränderungen des Körperbildes eine häufige Erfahrung bei dissoziativen Personen sind (Frewen und Lanius, 2015; Lanius et al., 2020; Ciaunica et al., 2021b,c). Schwere frühkindliche Störungen der neurologischen Entwicklung können auch zu der Erfahrung eines fragmentierten, diskontinuierlichen und körperlosen Selbst führen, wie es bei der dissoziativen Identitätsstörung (DID) auftritt, einer Erkrankung, die häufig mit frühen und schweren Traumatisierungen einhergeht (Reinders et al., 2003; Dorahy et al., 2014; Schlumpf et al., 2014; Reinders und Veltman, 2021). Diese verschiedenen Formen der Selbstentfremdung

sind mit neokortikal ausgerichteten therapeutischen Ansätzen oft nicht zu durchdringen. Eine Rückkehr zu den Grundlagen des Selbstbewusstseins über somatisch-sensorische Therapieansätze ist daher von entscheidender Bedeutung.

Was uns die Neurowissenschaften über den Zusammenhang zwischen somatischer Sinnesverarbeitung und traumabedingten Störungen lehren können: Implikationen für die Behandlung und zukünftige Richtungen

„Wir alle möchten Traumata überwinden, aber der Teil unseres Gehirns, der für unser Überleben zuständig ist (tief unterhalb unseres rationalen Gehirns), ist nicht besonders gut darin, Dinge zu verdrängen“ (van der Kolk, 2015, S. 2).

Wenn somatische sensorische Reize direkt auf die Erregung einwirken und unser ursprüngliches Selbst hervorbringen, kann man ihre Kraft nutzen, um

Die Modulation der Erregung und die Herstellung eines kohärenten Selbstgefühls werden einen wirksamen therapeutischen Ansatz darstellen. Die Förderung der Wiederverbindung mit gefühlten körperlichen Bewegungs- und Berührungserfahrungen innerhalb einer positiv valenzierten therapeutischen Allianz wird den zuvor negativen multisensorischen Erfahrungen und Bindungsstörungen entgegenwirken (van der Kolk, 2015) und zu einer vorgelagerten Regulierung der Erregung und des Affekts, einer Modulation der exterozeptiven Sinnesindrücke und einer Stärkung der verkörperten kognitiven Fähigkeiten führen. Obwohl kognitive Verhaltenstherapien als erste Behandlungsoption für traumatisierte Personen gelten (Malejko et al., 2017; Yang et al., 2018), wurde bei PTBS-Patienten eine Wirksamkeit von weniger als 50 % berichtet (Marks et al., 1998; Bradley et al., 2005; Mendes et al., 2008; Kar, 2011), und sie können in Stresszuständen (van der Kolk und Fisler, 1995; Raio et al., 2013) oder bei Dissoziation (Michelson et al., 1998; Rufer et al., 2006; Spitzer et al., 2007; Kleindienst et al., 2011; LeBois et al., 2022; siehe jedoch auch Halvorsen et al., 2014; Zoet et al., 2018; Vancappel et al., 2022). Wir schlagen jedoch keinen rein „bottom-up“-Ansatz vor, sondern betonen die Bedeutung einer Kombination aus Bottom-up- und Top-down-Strategien unter Berücksichtigung der sensorischen Integration auf der Ebene des Hirnstamms, der ontogenetischen Entwicklung und der Förderung der vertikalen und horizontalen Integration. Die Kombination von somatischer Sinnesstimulation mit Bewusstheit, bei der der Einzelne die Präsenz, Intensität und Qualität somatischer Reize wahrnimmt, kann die oft so schwer zu behandelnde Trennung zwischen Gehirn und Körper überbrücken, die in kognitiven Therapien allein nur schwer zu erreichen ist. Somatische sensorische Ansätze können daher kognitiv ausgerichtete Interventionen optimieren. Sensorische Interventionen gewinnen zunehmend an Bedeutung (Fraser et al., 2017; McGreevy und Boland, 2020), und es werden verschiedene Ansätze diskutiert.

Somatisch-sensorische Psychotherapie

Sensorimotorische Ansätze in der Psychotherapie, wie die Sensorimotorische Psychotherapie (SP; Ogden et al., 2006), Somatic Experiencing (Levine, 2010) und die Sensory Motor Arousal Regulation Therapy (SMART; Warner et al., 2013), legen den Schwerpunkt auf achtsame Aufmerksamkeit für Berührungen, Körperhaltungen und Bewegungen. Basierend auf Konzepten der erfahrungsabhängigen Neuroplastizität und des Hebbischen Lernens (Hebb, 1949; Rao und Sejnowski, 2001) sollen diese Ansätze wiederholt eine organisierende Reaktion hervorrufen, die der Umwelt- und Selbstbeherrschung förderlich ist, oder die konsistente und befriedigende Fähigkeit, sinnvolle zielgerichtete Handlungen zu produzieren (Ayes, 1972). Kleine klinische Studien zu SP-informierter Gruppentherapie (Langmuir et al., 2012; Gene-Cos et al., 2016; Classen et al., 2021) und Fallstudien zu SMART (Warner et al., 2014; Finn et al., 2018) und SE (Payne et al., 2015) haben vielversprechende Ergebnisse bei der Regulierung der Erregung und der Verringerung von PTBS-Symptomen gezeigt. Deep Brain Re-Orienting (DBR) ist ein Ansatz, der ebenfalls auf die multisensorischen integrativen Regionen des Hirnstamms und des Mittelhirns abzielt, indem er sich speziell auf Orientierungs- und Haltungsreaktionen konzentriert. Während Trauma

führt zu überwältigender Alarmierung (auf der Ebene des LC und SC) und/oder Affekt (auf der Ebene des PAG), wobei die therapeutische Aufmerksamkeit auf die Muskelverspannungen im Nacken, die auf eine SC-Aktivierung hinweisen (Corneil und Camp, 2018) und als Reaktion auf eine traumatische Erinnerung ausgelöst werden, Informationen über deren präaffektive Komponenten liefert. DBR ist für Menschen mit chronischen Frühkindheitstraumata von großer Bedeutung, da Muskelaktivierung, Kopfdrehen und Greifen sowohl bei der Annäherung an als auch beim Rückzug von frühen Bezugspersonen eine wichtige Rolle spielen (Corrigan und Christie-Sands, 2020). Diese Ansätze nutzen subkortikale Prozesse mittels somatischer sensorischer Rückkopplung und erleichtern das Bewusstsein und die Erfahrung somatischer Empfindungen im gegenwärtigen Moment der Sicherheit im Gegensatz zu einem vergangenen Trauma (Fisher, 2011, 2019). Dieser Prozess kann das Gegenteil von dissoziativen Flashbacks, Derealisation und Depersonalisation sein und ein Katalysator für die Wiederherstellung des Gefühls der Handlungsfähigkeit und des Vertrauens in den Körper.

Desensibilisierung und Aufarbeitung durch Augenbewegungen

Die Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR)-Therapie nutzt sakkadische Augenbewegungen, um eine angeborene Entspannungsreaktion auszulösen und maladaptiv gespeicherte Traumata zu integrieren (Shapiro, 1995; Oren und Solomon, 2012). Obwohl der Mechanismus hinter den therapeutischen Vorteilen von EMDR noch unklar ist, haben die Augenbewegungsmuskeln umfangreiche wechselseitige Verbindungen zur retikulären Formation des Hirnstamms, den vestibulären Kernen und den oberen Colliculi (Horn und Adamzyk, 2012; Harricharan et al., 2019), die die Erregung und die multisensorische Integration beeinflussen. Während EMDR-Sitzungen wird eine verminderte physiologische Erregung berichtet (Aubert-Khalifa et al., 2008; Sack et al., 2008; Söndergaard und Elofsson, 2008), die dann die Intensität negativer Affekte abschwächt (Oren und Solomon, 2012). Bereits nach drei bis acht Sitzungen wurde eine signifikante Verringerung der PTBS-Symptome festgestellt (Rothbaum, 1997; Wilson et al., 1997; Marcus et al., 2004), obwohl bei schweren und chronischen frühkindlichen Traumatisierungen eine längere Dauer empfohlen wird (van der Kolk et al., 2007).

Neurofeedback

Das elektroenzephalographische (EEG) Neurofeedback-Training (NFB) ist eine nicht-invasive Technik, die auf der Prämisse basiert, dass kognitive und motorische Funktionen von der ordnungsgemäßen Kommunikation neuronaler Verbände abhängen, die in konstellatorischen Netzwerken organisiert sind (Neuper und Pfurtscheller, 2001; Nicholson et al., 2020b). Die Bereitstellung von sensorischem Feedback, das die neuronale Aktivität in Echtzeit widerspiegelt, hat sich als wirksames Mittel erwiesen, um freiwillig niederfrequente Alpha-Oszillationen mit hoher Amplitude zu fördern, die mit einem ruhigen, introspektiven Zustand verbunden sind. Alpha-Synchronität kann als sensorischer Gating-Mechanismus wirken, um irrelevante Reize zu hemmen (Herrmann und Knight,

2001; Jensen und Mazaheri, 2010; Jones und Sliva, 2020; Saj et al., 2021) und kommt typischerweise in tieferen Mittellinienstrukturen vor, darunter dem Thalamus (Lopes da Silva, 1991), was seine Rolle bei der vertikalen Integration untermauert. Alpha-gerichtetes Neurofeedback normalisiert nachweislich die SN- und DMN-Konnektivität und verringert die Schwere der Symptome bei PTBS (Kluetsch et al., 2014; Nicholson et al., 2016, 2020a; van der Kolk et al., 2016; Ros et al., 2017; Rogel et al., 2020) und sensorische Überempfindlichkeiten lindern (Hamed et al., 2022).

Spieltherapie

Für traumatisierte Kinder bieten spielerische Ansätze, die vestibuläres und somatosensorisches Feedback sowie affektive zwischenmenschliche Dynamiken beinhalten, dem Therapeuten Zugang zur ursprünglichen Beziehungswelt des Kindes. Der Reichtum an vestibulären und somatosensorischen Reizen in klassischen Kinderspielen, die Generations- und Kulturgrenzen überschreiten, wie „Kuckuck“, „Verstecken“ und „Fangen“, verdeutlicht die Bedeutung somatosensorischer Systeme für die neurologische Entwicklung und die Navigation in sozialen Beziehungen. Für traumatisierte Kinder verspricht die Teilnahme an diesen Spielen in einem therapeutischen Kontext eine Reorganisation der sensorischen und affektiven Schaltkreise auf der Ebene des Hirnstamms. Durch die weitere Nutzung der Kraft eines grundlegenden affektiven Motivationssystems (PLAY) auf der Ebene des PAG (Panksepp, 1998) stellt die bewegungsspielbasierte Therapie die bewegungsspielbasierte Therapie die intrinsische Fähigkeit zur Orientierung an anderen wieder her, bereichert die Fähigkeit des Kindes zu positiven affektiven Reaktionen und stellt den ursprünglichen Drang nach Beziehungsaufbau durch somatische Sinneserfahrungen wieder her (Crenshaw und Kenney-Noziska, 2014; Corrigan und Christie-Sands, 2020).

Yoga

Die Bedeutung achtsamer Bewegungen und propriozeptiver Rückmeldungen für die Erdung des Körpers und die Abstimmung auf seine Bedürfnisse ist seit Jahrhunderten Teil der yogischen Tradition. Trauma-informierte Yogapraktiker*innen leiten ihre Klient*innen darin an, dosierte somatische Empfindungen und/oder die affektiven Zustände, die somatische Sinnesindrücke hervorrufen können, zu tolerieren. Darüber hinaus unterstützen achtsame Bewegungen und Körperhaltungen die Top-down-Regulierung somatisch induzierter Erregung. Traumasensitives Yoga (TSY; Emerson et al., 2009; Emerson und Hopper, 2011) ist ein Beispiel für die Anwendung von traumainformiertem Yoga in einer therapeutischen Gruppensituation. Zwei randomisierte kontrollierte Studien mit Frauen mit behandlungsresistenter PTBS zeigten eine Verringerung der Symptome und Dissoziationen; die kürzer angelegte Studie (10 Wochen) führte zu einer Symptomverringerung, die mit psychopharmakologischen und psychotherapeutischen Interventionen vergleichbar war (van der Kolk et al., 2014), während eine längere Yoga-Praxis (20 Wochen) sogar noch größere Verbesserungen bewirkte (Price et al., 2017).

Pferdegestützte Therapie

Für Menschen mit schweren frühkindlichen Traumata und Bindungsstörungen kann es schwierig oder unmöglich sein, sich in einer menschlichen Beziehung sicher zu fühlen. Die pferdegestützte Psychotherapie (EFP) erleichtert die Einstimmung auf Pferde (Lentini und Knox, 2015), wobei die Betroffenen lernen, nonverbale Signale zu lesen und sich in einer nicht bedrohlichen, abgestimmten, ko-regulatorischen Beziehung zu befinden. Die EFP umfasst das Putzen und Pflegen des Pferdes, um durch somatosensorische Mittel Vertrauen aufzubauen, sowie das Aufsteigen (Reiten mit oder ohne Sattel, Aufrechterhaltung der Körperhaltung, Reiten mit geschlossenen Augen) unter Anleitung eines ausgebildeten Therapeuten (Naste et al., 2018). Ein Gefühl der Meisterschaft wird durch klientenzentrierte Berührungen, Gleichgewicht und Körperbeherrschung im Rahmen einer sicheren, ko-regulatorischen Dynamik aufgebaut (Kendall und Maujean, 2015). Mehrere nicht randomisierte Studien mit kleinen Stichproben berichteten über eine Verringerung depressiver und PTBS-assoziiierter Symptome nach EFP (Nevins et al., 2013; Signal et al., 2013; Yorke et al., 2013; Kemp et al., 2014; McCullough et al., 2015; für eine Übersicht siehe Lentini und Knox, 2015; O'Haire et al., 2015).

Expressive Kunsttherapie

Die expressive Kunsttherapie, einschließlich der therapeutischen Anwendung von Musik, Tanz, Theater, Kunst und kreativem Schreiben, ist ein weiterer Ansatz, der den Körper durch gezielte Handlungen konsequent einbezieht (Malchiodi, 2020). Hier wird das „gefühlte“ Trauma, das im Körper und durch den Körper erlebt wird, in nonverbalen, sensorischen und handlungsorientierten Kunstformen ausgedrückt, die die impliziten, verkörperten Erfahrungen des Traumas erschließen, die sich einer narrativen oder logischen Ausdrucksweise entziehen (Terr, 1990; Malchiodi, 2020). Jede Form der expressiven Kunsttherapie bezieht den physischen Körper und sinnvolle, zielgerichtete Handlungen ein, die zu einem beabsichtigten Ergebnis führen und sensorisch-motorische Rückkopplungsschleifen bilden oder wiederherstellen, die ein Gefühl der Handlungsfähigkeit, Kraft und einer positiven Beziehung zur eigenen Umgebung hervorrufen. Darüber hinaus kann die nonverbale Rhythmik, die der Musiktherapie innewohnt, eine vibratorische Stimulation und eine externe Rhythmusquelle bieten, wenn innere Rhythmen und die sensorisch-motorische Synchronisation aufgrund somatischer sensorischer Desintegration gestört sind. Bei Personen, die Kunsttherapie (Chapman et al., 2001; Curry und Kasser, 2005; Henderson et al., 2007; für eine Übersicht siehe Schouten et al., 2015) und Musiktherapie (Carr et al., 2012) zur Behandlung von PTBS erhielten, wurde über eine mäßige Verringerung der traumabedingten Symptome berichtet.

Fazit

Janet (1889) charakterisierte Trauma klassisch als die Unfähigkeit, im gegenwärtigen Moment vollständig lebendig zu sein. Wenn das Wesen von

Trauma ist die Trennung von Bindungen zu sich selbst und anderen (van der Kolk, 1987), und die Heilung von Traumata zeigt sich in der Fähigkeit, sich in einem optimalen Erregungszustand zu befinden, während man affektive Empfindungen/Emotionen im Körper erlebt. Daher ist die weitere Erforschung der neurobiologischen Korrelate der vestibulären und somatosensorischen Verarbeitung bei traumabedingten Störungen unerlässlich und dringend erforderlich. Für Menschen, die von Empfindungen und Emotionen überflutet sind, ist es unerlässlich, mithilfe von Top-down-Strategien eine Toleranz gegenüber somatischen Empfindungen aufzubauen. Für Menschen, die dazu neigen, sich als Abwehrmechanismus „abzuschalten“ oder somatische Empfindungen zu vermeiden, kann die Identifizierung somatischer Signale, die mit Veränderungen der Erregung und/oder Emotionen zusammenhängen, durch titriertes somatisches sensorisches Feedback erleichtert werden. Therapeutische Ansätze, die sich auf die Abstimmung auf somatisch-sensorisch-affektive Erfahrungen konzentrieren, könnten an die Wurzeln des dynamischen Systems heranreichen. Dies könnte wiederum eine zuvor nicht vorhandene Verbindung zwischen Körper und Geist herstellen und damit die Grundlage für die Wiederherstellung eines verkörperten Selbst schaffen, das in der Lage ist, sich nach einem Trauma wieder voll und ganz lebendig zu fühlen.

Beiträge der Autoren

Beide aufgeführten Autoren haben einen wesentlichen, direkten und intellektuellen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet und sie zur Veröffentlichung freigegeben.

Referenzen

- Abdallah, C. G., Averill, C. L., Ramage, A. E., Averill, L. A., Goktas, S., Nemati, S., et al. (2019). Störung des Saliens-Netzwerks bei Soldaten der US-Armee mit posttraumatischer Belastungsstörung. *Chronic Stress* 3, 1–10. doi: 10.1177/2470547019850467
- Abraira, V. E., und Ginty, D. D. (2013). Die sensorischen Neuronen des Tastsinns. *Neuron* 79, 618–639. doi: 10.1016/j.neuron.2013.07.051
- Ackerley, R., Backlund Wasling, H., Liljencrantz, J., Olausson, H., Johnson, R. D. und Wessberg, J. (2014). Menschliche C-taktile Afferenzen sind auf die Temperatur einer streichelnden Berührung der Haut abgestimmt. *J. Neurosci.* 34, 2879–2883. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2847-13.2014
- Adamo, S. A. (2012). Die Auswirkungen der Stressreaktion auf die Immunfunktion bei Wirbellosen: Eine evolutionäre Perspektive auf einen uralten Zusammenhang. *Horm. Behav.* 62, 324–330. doi: 10.1016/j.yhbeh.2012.02.012
- Ainsworth M. D. S., Blehar M. C., Waters E. und Wall S. (1978). *Bindungsmuster: Eine psychologische Studie zur fremden Situation*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Akaike, T. (1983). Neuronale Organisation des vestibulospinalen Systems bei Katzen. *Brain Res.* 259, 217–227. doi: 10.1016/0006-8993(83)91252-0
- Akbadian, S., Grüsser, O. J. und Guldin, W. O. (1992). Thalamische Verbindungen der vestibulären kortikalen Felder beim Totenkopffchen (Saimiri sciureus). *J. Comp. Neurol.* 326, 423–441. doi: 10.1002/cne.903260308
- Akiki, T. J., Averill, C. L. und Abdallah, C. G. (2017). Ein netzwerkbasierendes neurobiologisches Modell der PTBS: Erkenntnisse aus strukturellen und funktionellen Neuroimaging-Studien. *Curr. Psychiatry Rep.* 19, 1–10. doi: 10.1007/s11920-017-0840-4
- Alais, D., Newell, F. N. und Mamassian, P. (2010). Multisensorische Verarbeitung im Überblick: Von der Physiologie zum Verhalten. *Seeing Perceiving* 23, 3–38. doi: 10.1163/187847510X488603
- Alexander, P. C. (1993). Die unterschiedlichen Auswirkungen von Missbrauchseigenschaften und Bindung auf die Vorhersage der Langzeitfolgen sexuellen Missbrauchs. *J. Interpers. Violence* 8, 346–362. doi: 10.1177/088626093008003004
- Allen, M. (2020). Unravelling the neurobiology of interoceptive inference. *Trends Cogn. Sci.* 24, 265–266. doi: 10.1016/j.tics.2020.02.002
- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostisches und statistisches Handbuch psychischer Störungen*, 5. Auflage. Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Amodio, D. M. und Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nat. Rev. Neurosci.* 7, 268–277. doi: 10.1038/nrn.1884
- Anagnostaras, S. G. und Robinson, T. E. (1996). Sensibilisierung für die psychomotorisch stimulierenden Wirkungen von Amphetamin: Modulation durch assoziatives Lernen. *Behav. Neurosci.* 110, 1397–1414. doi: 10.1037/0735-7044.110.6.1397
- Armour, C., Karstoft, K. I. und Richardson, J. D. (2014). Das gleichzeitige Auftreten von PTBS und Dissoziation: Unterscheidung zwischen schwerer PTBS und dissoziativer PTBS. *Soc. Psychiatry Psychiatr. Epidemiol.* 49, 1297–1306. doi: 10.1007/s00127-014-0819-y
- Ashwell, K. W. S. und Waite, P. M. E. (2012). „Entwicklung des peripheren Nervensystems“, in: *Das menschliche Nervensystem*, 3. Auflage, Hrsg. J. K. Mai und G. Paxinos (Amsterdam: Elsevier), 14–30.
- Aston-Jones, G. und Cohen, J. D. (2005). Eine integrative Theorie der Funktion des Locus coeruleus-Noradrenalin: Adaptive Verstärkung und optimale Leistung. *Annu. Rev. Neurosci.* 28, 403–450. doi: 10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709
- Atick, J. J. (2011). Könnte die Informationstheorie eine ökologische Theorie der sensorischen Verarbeitung liefern? *Network* 22, 4–44. doi: 10.3109/0954898x.2011.638888

Finanzierung

Diese Arbeit wurde von der Trauma Research Foundation und dem Canadian Institute of Health Research unterstützt.

Danksagungen

Alle Abbildungen wurden mit BioRender (www.BioRender.com) erstellt.

Interessen

Die Autoren erklären, dass die Forschung ohne kommerzielle oder finanzielle Beziehungen durchgeführt wurde, die als potenzieller Interessenkonflikt ausgelegt werden könnten.

Anmerkung des

Alle in diesem Artikel geäußerten Ansichten sind ausschließlich die der Autoren und geben nicht unbedingt die Meinung ihrer zugehörigen Organisationen, des Verlags, der Herausgeber oder der Gutachter wieder. Der Verlag übernimmt keine Gewähr für Produkte, die in diesem Artikel bewertet werden, oder für Aussagen, die von deren Herstellern getroffen werden.

- Aubert-Khalifa, S., Roques, J. und Blin, O. (2008). Nachweis einer Abnahme der Herzfrequenz und der Hautleitfähigkeitsreaktionen bei PTBS-Patienten nach einer einzigen EMDR-Sitzung. *J. EMDR Pract. Res.* 2, 51–56. doi: 10.1891/1933-3196.2.1.51
- Ayres, A. J. (1972). *Sensorische Integration und Lernstörungen*. Torrance: Western Psychological Services.
- Badura-Brack, A. S., Becker, K. M., McDermott, T. J., Ryan, T. J., Becker, M. M., Hearley, A. R., et al. (2015). Verminderte somatosensorische Aktivität bei nicht bedrohlichen Berührungen bei Kriegsveteranen mit posttraumatischer Belastungsstörung. *Psychiatry Res. Neuroimaging* 233, 194–200. doi: 10.1016/j.psychres.2015.06.012
- Balaban, C. D., und Porter, J. D. (1998). Neuroanatomische Substrate für vestibulär-autonome Interaktionen. *J. Vestib. Res. Equilibrium Orientat.* 8, 7–16. doi: 10.3233/ves-1998-8102
- Balaban, C. D. und Thayer, J. F. (2001). Neurologische Grundlagen für Zusammenhänge zwischen Gleichgewicht und Angst. *J. Anxiety Disorder.* 15, 53–79. doi: 10.1016/S0887-6185(00)00042-6
- Balaban, C. D., Jacob, R. G. und Furman, J. M. (2011). Neurologische Grundlagen für die Komorbidität von Gleichgewichtsstörungen, Angststörungen und Migräne: Neurotherapeutische Implikationen. *Exp. Rev. Neurother.* 11, 379–394. doi: 10.1586/ern.11.19
- Bandler, R. und Depaulis, A. (1991). „Midbrain periaqueductal grey control of defensive behaviour in the cat and the rat“ (Kontrolle des Abwehrverhaltens durch die graue Substanz im Periaquäduktum des Mittelhirns bei Katzen und Ratten), in: *The midbrain periaqueductal gray matter* (Die graue Substanz im Periaquäduktum des Mittelhirns), Hrsg. A. Depaulis und R. Bandler (Boston, MA: Springer), 175–198.
- Baranek, G. T., Woyonoski, T. G., Nowell, S., Turner-Brown, L., DuBay, M., Crais, E. R., et al. (2018). Kaskadierende Effekte von Aufmerksamkeitsabbau und Sinnesindrucksuche auf soziale Symptome in einer Gemeinschaftsstichprobe von Säuglingen mit Risiko für eine zukünftige Diagnose einer Autismus-Spektrum-Störung. *Dev. Cogn. Neurosci.* 29, 30–40. doi: 10.1016/j.dcn.2017.08.006
- Barrett, L. F., und Simmons, W. K. (2015). Interozeptive Vorhersagen im Gehirn. *Nat. Rev. Neurosci.* 16, 419–429. doi: 10.1038/nrn3950
- Basso, M. A., Bickford, M. E. und Cang, J. (2021). Entschlüsselung der Schaltkreise der visuellen Wahrnehmung und Kognition durch den Colliculus superior. *Neuron* 109, 918–937. doi: 10.1016/j.neuron.2021.01.013
- Beeney, J. E., Wright, A. G. C., Stepp, S. D., Hallquist, M. N., Lazarus, S. A., Beeney, J. R. S. et al. (2017). Desorganisierte Bindung und Persönlichkeitsfunktion bei Erwachsenen: Eine latente Klassenanalyse. *Pers. Disord.* 8, 206–216. doi: 10.1037/per0000184
- Bell, J., Bolanowski, S., und Holmes, M. H. (1994). Die Struktur und Funktion der Pacini-Körperchen: Eine Übersicht. *Prog. Neurobiol.* 42, 918–937. doi: 10.1016/0301-0082(94)90022-1
- Bense, S., Stephan, T., Yousry, T. A., Brandt, T. und Dieterich, M. (2001). Multisensorische kortikale Signale nehmen während der vestibulären galvanischen Stimulation (fMRI) zu und ab. *J. Neurophysiol.* 85, 886–899. doi: 10.1152/jn.2001.85.2.886
- Berridge, C. W. und Waterhouse, B. D. (2003). Das Locus coeruleus-noradrenerge System: Modulation des Verhaltenszustands und zustandsabhängiger kognitiver Prozesse. *Brain Res. Rev.* 42, 33–84. doi: 10.1016/S0165-0173(03)00143-7
- Bertsch, K., Schmidinger, I., Neumann, I. D. und Herpertz, S. C. (2013). Reduzierte Oxytocinwerte im Plasma bei weiblichen Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung. *Horm. Behav.* 63, 424–429. doi: 10.1016/j.yhbeh.2012.11.013
- Besser, A. und Neria, Y. (2012). Wenn das Zuhause kein sicherer Hafen ist: Unsichere Bindungsorientierungen, wahrgenommene soziale Unterstützung und PTBS-Symptome bei israelischen Evakuierten unter Raketenbedrohung. *Psychol. Trauma Theory, Res. Pract. Policy* 4, 34–46. doi: 10.1037/a0017835
- Biaggioni, I., Costa, F., und Kaufmann, H. (1998). Vestibuläre Einflüsse auf die autonome Herz-Kreislauf-Steuerung beim Menschen. *J. Vestib. Res. Equilibrium Orientat.* 8, 35–41. doi: 10.3233/ves-1998-8105
- Bichescu-Burian, D. M., Grieb, B., Steinert, T., Uhlmann, C., und Steyer, J. (2018). Einsatz eines psychophysiologischen skriptgesteuerten Bilderexperiments zur Untersuchung traumabedingter Dissoziation bei Borderline-Persönlichkeitsstörungen. *J. Vis. Exp.* 133:E56111. doi: 10.3791/56111
- Björnsdotter, M., Gordon, I., Pelphrey, K. A., Olausson, H., und Kaiser, M. D. (2014). Entwicklung von Gehirnmechanismen zur Verarbeitung affektiver Berührungen. *Front. Behav. Neurosci.* 8:24. doi: 10.3389/fnbeh.2014.00024
- Björnsdotter, M., Löken, L., Olausson, H., Vallbo, Å und Wessberg, J. (2009). Somatotopische Organisation der Verarbeitung sanfter Berührungen im hinteren insularen Kortex. *J. Neurosci.* 29, 9314–9320. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0400-09.2009
- Blanke, O. (2012). Multisensorische Gehirnmechanismen der körperlichen Selbstwahrnehmung. *Nat. Rev. Neurosci.* 13, 556–571. doi: 10.1038/nrn3292
- Blanke, O., und Metzinger, T. (2009). Ganzkörperillusionen und minimale phänomenale Selbstheit. *Trends Cogn. Sci.* 13, 7–13. doi: 10.1016/j.tics.2008.10.003
- Blayney, A. W. (1997). „Vestibular disorders“, in *Scott-Brown's Otolaryngology: Paediatric otolaryngology*, 6. Auflage, Band 6, Hrsg. D. A. Adams und M. J. Cinnamon (Boca Raton, FL: CRC Press), 1–29.
- Blevins, C. A., Weathers, F. W. und Witte, T. K. (2014). Dissoziation und posttraumatische Belastungsstörung: Eine latente Profilanalyse. *J. Trauma, Stress* 27, 388–396. doi: 10.1002/jts.21933
- Bluhm, R. L., Williamson, P. C., Osuch, E. A., Frewen, P. A., Stevens, T. K., Boksman, K., et al. (2009). Veränderungen in der Konnektivität des Standardnetzwerks bei posttraumatischer Belastungsstörung im Zusammenhang mit frühkindlichen Traumata. *J. Psychiatry Neurosci.* 34, 187–194.
- Bogaerts, S., Kunst, M. J. J. und Winkel, F. W. (2009). Abwesende Bindung und posttraumatische Belastungsstörung bei sicher und unsicher gebundenen belgischen Sicherheitskräften. *Psychol. Rep.* 105, 889–899. doi: 10.2466/PRO.105.3.889-899
- Bohic, M. und Abaira, V. E. (2022). Auf soziale Berührungen programmiert: Der Sinn, der uns mit anderen verbindet. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 43, 207–215. doi: 10.1016/j.cobeha.2021.10.009
- Bond, A. M., Bhalala, O. G., und Kessler, J. A. (2012). Die dynamische Rolle von knochenmorphogenetischen Proteinen bei der Bestimmung und Reifung neuraler Stammzellen. *Dev. Neurobiol.* 72, 1068–1084. doi: 10.1002/dneu.22022
- Bottini, G., Karnath, H. O., Vallar, G., Sterzi, R., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J. et al. (2001). Zerebrale Repräsentationen für den egozentrischen Raum: Funktionell-anatomische Belege aus kalorischer vestibulärer Stimulation und Nackenvibration. *Brain* 124, 1182–1196. doi: 10.1093/brain/124.6.1182
- Bottini, G., Sterzi, R., Paulesu, E., Vallar, G., Cappa, S. F., Erminio, F., et al. (1994). Identifizierung der zentralen vestibulären Projektionen beim Menschen: Eine Aktivierungsstudie mittels Positronen-Emissions-Tomographie. *Exp. Brain Res.* 99, 164–169. doi: 10.1007/BF00241421
- Boulet, C., Lopez-Castroman, J., Mouchabac, S., Olié, E., Courtet, P., Thouvenot, E., et al. (2022). Stressreaktion bei Dissoziations- und Konversionsstörungen: Eine systematische Übersicht. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 132, 957–967. doi: 10.1016/j.neubiorev.2021.10.049
- Bourinet, E., Martin, M., Huzard, D., Jeanneteau, F., Mery, P.-F., und François, A. (2021). Der Einfluss von C-taktilen Mechanorezeptoren mit niedriger Schwelle auf affektive Berührungen und soziale Interaktionen bei Mäusen. *BioRxiv* [Vorabdruck]. doi: 10.1101/2021.01.13.426492
- Bowlby, J. (1973). *Bindung und Verlust: Band II: Trennung, Angst und Wut*. New York, NY: Penguin Books, LTD.
- Bracha, H. S. (2004). Erstarrung, Flucht, Kampf, Schreck, Ohnmacht: Adaptionistische Perspektiven auf das Spektrum akuter Stressreaktionen. *CNS Spectrums* 9, 679–685. doi: 10.1017/S109285290001954
- Bradley, R., Greene, J., Russ, E., Dutra, L. und Westen, D. (2005). Eine multidimensionale Metaanalyse der Psychotherapie bei PTBS. *Am. J. Psychiatry* 162, 214–227. doi: 10.1176/appi.ajp.162.2.214
- Brandão, M. L. und Lovick, T. A. (2019). Rolle des dorsalen periaquäduktalen Graus bei posttraumatischer Belastungsstörung: Mediation durch Dopamin und Neurokinin. *Transl. Psychiatry* 9, 1–9. doi: 10.1038/s41398-019-0565-8
- Brandt, T., Dieterich, M., und Danek, A. (1994). Läsionen des vestibulären Kortex beeinflussen die Wahrnehmung der Vertikalität. *Ann. Neurol.* 35, 403–412. doi: 10.1002/ana.410350406
- Brennstuhl, M. J., Harvey, A. G., Gurthrie, R. M. und Moulds, M. L. (2015). Chronische Schmerzen und PTBS: Sich entwickelnde Ansichten zu ihrer Komorbidität. *Perspect. Psychiatr. Care* 51, 295–304. doi: 10.1111/ppc.12093
- Britton, Z. und Arshad, Q. (2019). Vestibuläre und multisensorische Einflüsse auf die Selbstbewegungswahrnehmung und die Folgen für das menschliche Verhalten. *Front. Neurol.* 10:63. doi: 10.3389/fneur.2019.00063
- Bryant, R. A. (2003). Frühe Prädiktoren für posttraumatische Belastungsstörungen. *Biol. Psychiatry* 53, 789–795. doi: 10.1016/S0006-3223(02)01895-4
- Bryant, R. A., Harvey, A. G., Guthrie, R. M. und Moulds, M. L. (2000). Eine prospektive Studie zu psychophysiologischer Erregung, akuter Belastungsstörung und posttraumatischer Belastungsstörung. *J. Abnorm. Psychol.* 109, 341–344. doi: 10.1037/0021-843X.109.2.341
- Brzozowska, A., Longo, M. R., Mareschal, D., Wiesemann, F. und Gliga, T. (2022). Oxytocin, aber nicht natürlich vorkommende Variationen in der Berührung durch Bezugspersonen, stehen in Zusammenhang mit der sozialen Orientierung von Säuglingen. *Dev. Psychobiol.* 64:e22290. doi: 10.1002/dev.22290
- Buck, R. (1999). Die biologischen Affekte: Eine Typologie. *Psychol. Rev.* 106, 301–336. doi: 10.1037/0033-295X.106.2.301
- Bystrova, K. (2009). Neuer Mechanismus der Regulierung des menschlichen Fötalwachstums: Eine mögliche Rolle von Lanugo, Vernix caseosa und einem zweiten taktilen System aus unmyelinisierten C-Afferenten mit niedriger Schwelle. *Med. Hypotheses* 72, 143–146. doi: 10.1016/j.mehy.2008.09.033
- Caldji, C., Tannenbaum, B., Sharma, S., Francis, D., Plotsky, P. M. und Meaney, M. J. (1998). Die mütterliche Fürsorge während der Säuglingszeit reguliert die Entwicklung neuronaler Systeme, die die Ausprägung von Ängstlichkeit bei

Ratten. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95, 5335–5340. doi: 10.1073/pnas.95.9.5335

Carmona, J. E., Holland, A. K. und Harrison, D. W. (2009). Erweiterung der funktionellen zerebralen Systemtheorie der Emotionen auf die vestibuläre Modalität: Ein systematischer und integrativer Ansatz. *Psychol. Bull.* 135, 286–302. doi: 10.1037/a0014825

Carr, C., D'Ardenne, P., Sloboda, A., Scott, C., Wang, D. und Priebe, S. (2012). Gruppenmusiktherapie für Patienten mit anhaltender posttraumatischer Belastungsstörung – Eine explorative randomisierte kontrollierte Studie mit gemischter Methodenbewertung. *Psychol. Psychother. Theory Res. Pract.* 85, 179–202. doi: 10.1111/j.2044-8341.2011.02026.x

Carrive, P., und Morgan, M. M. (2012). „Entwicklung des peripheren Nervensystems“, in *Das menschliche Nervensystem*, 3. Auflage, Hrsg. J. K. Mai und G. Paxinos (Amsterdam: Elsevier), 367–400.

Cascio, C. J., Moore, D. und McGlone, F. (2019). Soziale Berührungen und menschliche Entwicklung. *Dev. Cogn. Neurosci.* 35, 5–11. doi: 10.1016/j.dcn.2018.04.009

Champagne, F., Diorio, J., Sharma, S. und Meaney, M. J. (2001). Natürlich vorkommende Variationen im mütterlichen Verhalten bei Ratten stehen im Zusammenhang mit Unterschieden in den Östrogen-induzierbaren zentralen Oxytocinrezeptoren. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98, 12736–12741. doi: 10.1073/pnas.221224598

Chapman, L., Morabito, D., Knudson, M. M., Ladakakos, C. und Schreier, H. (2001). Die Wirksamkeit von Kunsttherapie-Interventionen bei der Verringerung von Symptomen der posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS) bei pädiatrischen Traumatpatienten. *Art Ther.* 18, 100–104. doi: 10.1080/07421656.2001.10129750

Chatzittofis, A., Nordström, P., Uvnäs-Moberg, K., Åsberg, M. und Jokinen, J. (2014). Oxytocin Spiegel im Liquor und Plasma bei Suizidversuchern, die Rolle von Kindheitstraumata und Reviktimisierung. *Neuroendocrinol. Lett.* 35, 213–217.

Chu, J. A., Frey, L. M., Ganzel, B. L. und Matthews, J. A. (1999). Erinnerungen an Kindesmissbrauch: Dissoziation, Amnesie und Bestätigung. *Am. J. Psychiatry* 156, 749–755. doi: 10.1176/ajp.156.5.749

Ciaunica, A., Constant, A., Preissl, H. und Fotopoulou, K. (2021a). Das erste Vorherige: Von der Co-Verkörperung zur Co-Homöostase in der frühen Kindheit. *Conscious. Cogn.* 91:103117. doi: 10.1016/j.concog.2021.103117

Ciaunica, A., Hesp, C., Seth, A., Limanowski, J. und Friston, K. (2021b). Ich denke zu viel – also bin ich nicht: Veränderte Selbstwahrnehmung bei Depersonalisationsstörungen. *Conscious. Cogn.* 101:103320. doi: 10.1016/j.concog.2022.103320

Ciaunica, A., Roepstorff, A., Fotopoulou, A. K. und Petreca, B. (2021c). Was auch immer als Nächstes kommt und nah an meinem Selbst – Die transparenten Sinne und die „zweite Haut“: Implikationen für den Fall der Depersonalisation. *Front. Psychol.* 12:613587. doi: 10.3389/fpsyg.2021.613587

Classen, C. C., Hughes, L., Clark, C., Hill Mohammed, B., Woods, P. und Beckett, B. (2021). Eine pilotierte randomisierte kontrollierte Studie zu einer körperorientierten Gruppentherapie für Überlebende komplexer Traumata: Eine Adaption der sensomotorischen Psychotherapie. *J. Trauma Dissoc.* 22, 52–68. doi: 10.1080/15299732.2020.1760173

Cornell, B. D. und Camp, A. J. (2018). Tiermodelle für vestibulär evozierte myogene Potenziale: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. *Front. Neurol.* 9:489. doi: 10.3389/fneur.2018.00489

Corrigan, F. M. und Christie-Sands, J. (2020). Ein angeborenes Selbst-Anders-System im Hirnstamm, das Orientierung, affektive Reaktionen und polyvalentes Beziehungstreben umfasst: Einige klinische Implikationen für einen „Deep Brain Reorienting“-Ansatz in der Traumapsychotherapie. *Med. Hypotheses* 136:109502. doi: 10.1016/j.mehy.2019.10.9502

Coull, J. T. (1997). Die neuronalen Korrelate der noradrenergen Modulation der menschlichen Aufmerksamkeit, Erregung und des Lernens. *Eur. J. Neurosci.* 9, 589–598. doi: 10.1111/j.1460-9568.1997.tb01635.x

Cox, K. S., Resnick, H. S. und Kilpatrick, D. G. (2014). Prävalenz und Korrelate posttraumatischer verzerrter Überzeugungen: Bewertung der erweiterten kognitiven Symptome der DSM-5-PTSD in einer nationalen Stichprobe. *J. Trauma. Stress* 27, 299–306. doi: 10.1002/jts.21925

Craig, A. D. (2002). Wie fühlst du dich? Interozeption: Das Bewusstsein für den physiologischen Zustand des Körpers. *Nat. Rev. Neurosci.* 3, 655–656. doi: 10.1038/nrn894

Craig, A. D. (2003). Interozeption: Der Sinn für den physiologischen Zustand des Körpers. *Curr. Opin. Neurobiol.* 13, 500–505. doi: 10.1016/s0959-4388(03)00090-4

Craig, A. D. (2009). Emotionale Momente im Laufe der Zeit: Eine mögliche neuronale Grundlage für die Zeitwahrnehmung in der anterioren Insula. *Philos. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci.* 364, 1933–1942. doi: 10.1098/rstb.2009.0008

Crenshaw, D. A., und Kenney-Noziska, S. (2014). Therapeutische Präsenz in der Spieltherapie. *Int. J. Play Ther.* 23, 31–43. doi: 10.1037/a0035480

Critchley, H. D., und Garfinkel, S. N. (2017). Interozeption und Emotion. *Curr. Opin. Psychol.* 17, 7–14. doi: 10.1016/j.copsyc.2017.04.020

Critchley, H. D., Wiens, S., Rotshtein, P., Öhman, A., und Dolan, R. J. (2004). Neuronale Systeme, die die interozeptive Wahrnehmung unterstützen. *Nat. Neurosci.* 7, 189–195. doi: 10.1038/nn1176

Crucianelli, L., und Ehrsson, H. (2022). Die Rolle der Haut bei der Interozeption: Ein vernachlässigtes Organ? *PsyArXiv* [Vorabdruck]. doi: 10.31234/osf.io/qlu87

Crucianelli, L., und Filippetti, M. L. (2020). Entwicklungsperspektiven für zwischenmenschliche affektive Berührungen. *Topoi* 39, 575–586. doi: 10.1007/s11245-018-9565-1

Crucianelli, L., Krahé, C., Jenkinson, P. M., und Fotopoulou, A. K. (2018). Interozeptive Komponenten der Körperwahrnehmung: Affektive Berührung und Herzbewusstsein in der Gummihand-Illusion. *Cortex* 104, 180–192. doi: 10.1016/j.cortex.2017.04.018

Cuppini, C., Stein, B. E. und Rowland, B. A. (2018). Entwicklung der Mechanismen, die die multisensorische Integration im Mittelhirn steuern. *J. Neurosci.* 38, 3453–3465. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2631-17.2018

Curry, N. A. und Kasser, T. (2005). Kann das Ausmalen von Mandalas Ängste reduzieren? *Art Ther.* 22, 81–85. doi: 10.1080/07421656.2005.10129441

D'Andrea, W., Pole, N., DePierro, J., Freed, S., und Wallace, D. B. (2013). Heterogenität defensiver Reaktionen nach einem Trauma: Abgeschwächte autonome Reaktivität als Reaktion auf erschreckende Geräusche. *Int. J. Psychophysiol.* 90, 80–89. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.07.008

Damasio, A. R. (1998). Emotionen aus der Perspektive eines integrierten Nervensystems. *Brain Res. Rev.* 26, 83–86. doi: 10.1016/S0165-0173(97)00064-7

Darwin, C. (1872). *Der Ausdruck der Emotionen bei Menschen und Tieren*. Oxford: Oxford University Press.

Davidovic, M., Starck, G., und Olausson, H. (2019). Verarbeitung affektiver und emotional neutraler taktiler Reize im insularen Kortex. *Dev. Cogn. Neurosci.* 35, 94–103. doi: 10.1016/j.dcn.2017.12.006

de Cicco, V., Tramonti Fantozzi, M. P., Cataldo, E., Barresi, M., Bruschini, L., Faraguna, U., et al. (2018). Trigeminale, viszerale und vestibuläre Inputs können kognitive Funktionen verbessern, indem sie über den Locus coeruleus und das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem wirken: Eine neue Hypothese. *Front. Neuroanat.* 11:130. doi: 10.3389/fnana.2017.00130

de Kleine, R. A., Haganaars, M. A. und van Minnen, A. (2018). Tonische Immobilität während der Wiedererleben des traumatischen Ereignisses bei posttraumatischer Belastungsstörung. *Psychiatry Res.* 270, 1105–1109. doi: 10.1016/j.psychres.2018.06.051

De Oca, B. M., DeCola, J. P., Maren, S. und Fanselow, M. S. (1998). Verschiedene Regionen des periaquäduktalen Graus sind an der Erlangung und Ausprägung von Abwehrreaktionen beteiligt. *J. Neurosci.* 18, 3426–3432. doi: 10.1523/jneurosci.18-09-03426.1998

Dean, P., Redgrave, P. und Westby, G. W. M. (1989). Ereignis oder Notfall? Zwei Reaktionssysteme im Colliculus superior von Säugetieren. *Trends Neurosci.* 12, 137–147. doi: 10.1016/0166-2236(89)90052-0

Declercq, F. und Willemsen, J. (2006). Distress und posttraumatische Belastungsstörungen bei Berufsgruppen mit hohem Risiko: Bindungsstil im Erwachsenenalter und die Dimensionen von Angst und Vermeidung. *Clin. Psychol. Psychother.* 13, 256–263. doi: 10.1002/cpp.492

Deecke, L., Schwarz, D. W. F. und Fredrickson, J. M. (1977). Vestibuläre Reaktionen im ventroposterioren Thalamus von Rhesusaffen. II. Vestibulär-propriozeptive Konvergenz an Thalamusneuronen. *Exp. Brain Res.* 30, 219–232. doi: 10.1007/BF00237252

del Valle, M. E., Cobo, T., Cobo, J. L. und Vega, J. A. (2012). Mechanosensorische Neuronen, cutane Mechanorezeptoren, und mutmaßliche Mechanoproteine. *Mikroskopieforschung. Technik* 75, 1033–1043. doi: 10.1002/jemt.22028

della Longa, L., Carnevali, L., Patron, E., Dragovic, D., und Farroni, T. (2021). Psychophysiologische und visuelle Verhaltensreaktionen auf Gesichter in Verbindung mit affektiver und nicht-affektiver Berührung bei vier Monate alten Säuglingen. *Neuroscience* 464, 67–78. doi: 10.1016/j.neuroscience.2020.07.053

Depaulis, A., Keay, K. A. und Bandler, R. (1994). Ruhezustand und Hyporeaktivität, hervorgerufen durch die Aktivierung von Zellkörpern im ventrolateralen periaquäduktalen Grau des Mittelhirns von Ratten. *Exp. Brain Res.* 99, 75–83. doi: 10.1007/BF00241413

Deroualle, D., Borel, L., Devèze, A. und Lopez, C. (2015). Perspektivwechsel: Die Rolle vestibulärer Signale. *Neuropsychologia* 79, 175–185. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.022

Devine, S. L., Walker, S. C., Makdani, A., Stockton, E. R., McFarquhar, M. J., McGlone, F. P., et al. (2020). Kindheitstraumata und affektive Berührungswahrnehmung: Ein Vergleich zwischen ehemaligen Heimkindern und Nicht-Heimkindern im Vereinigten Königreich. *Front. Psychol.* 11:557171. doi: 10.3389/fpsyg.2020.557171

- Diego, M. A. und Field, T. (2009). Moderate Druckmassage löst eine Reaktion des parasympathischen Nervensystems aus. *Int. J. Neurosci.* 119, 630–638. doi: 10.1080/00207450802329605
- Dieperink, M., Leskela, J., Thuras, P., und Engdahl, B. (2001). Klassifizierung von Bindungsstilen und posttraumatische Belastungsstörung bei ehemaligen Kriegsgefangenen. *Am. J. Orthopsychiatry* 71, 374–378. doi: 10.1037/0002-9432.71.3.374
- Ditzen, B., Neumann, I. D., Bodenmann, G., von Dawans, B., Turner, R. A., Ehler, U., et al. (2007). Auswirkungen verschiedener Arten der Interaktion zwischen Paaren auf Cortisol- und Herzfrequenzreaktionen auf Stress bei Frauen. *Psychoneuroendocrinology* 32, 565–574. doi: 10.1016/j.psyneuen.2007.03.011
- Donadon, M. F., Martin-Santos, R., Osório, F., und de, L. (2018). Die Zusammenhänge zwischen Oxytocin und Trauma beim Menschen: Eine systematische Übersicht. *Front. Pharmacol.* 9:154. doi: 10.3389/fphar.2018.00154
- Dorahy, M. J., Brand, B. L., Sar, V., Krüger, C., Stavropoulos, P., Martinez-Taboas, A., et al. (2014). Dissoziative Identitätsstörung: Ein empirischer Überblick. *Austr. New Zealand J. Psychiatry* 48, 402–417. doi: 10.1177/0004867414527523
- Ebner-Priemer, U. W., Badeck, S., Beckmann, C., Wagner, A., Feige, B., Weiss, I., et al. (2005). Affektive Dysregulation und dissoziative Erfahrungen bei weiblichen Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung: Eine Studie zur Schreckreaktion. *J. Psychiatr. Res.* 39, 85–92. doi: 10.1016/j.jpsychires.2004.05.001
- Edwards, S. B., Ginsburgh, C. L., Henkel, C. K. und Stein, B. E. (1979). Quellen subkortikaler Projektionen zum Colliculus superior bei Katzen. *J. Comp. Neurol.* 184, 309–329. doi: 10.1002/cne.901840207
- Eklund, G. (1972). Allgemeine Merkmale vibrationsinduzierter Effekte auf das Gleichgewicht. *Upsala J. Med. Sci.* 77, 112–124. doi: 10.1517/03009734000000016
- Emerson, D., und Hopper, E. (2011). *Trauma überwinden durch Yoga: Den Körper zurückgewinnen*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.
- Emerson, D., Sharma, R., Chaudhry, S., und Turner, J. (2009). Traumazensitives Yoga: Prinzipien, Praxis und Forschung. *Int. J. Yoga Ther.* 19, 123–128. doi: 10.17761/ijyt.19.1.h6476p808422160
- Engel-Yeger, B., Palgy-Levin, D. und Lev-Wiesel, R. (2013). Das sensorische Profil von Menschen mit posttraumatischen Belastungssymptomen. *Occup. Ther. Ment. Health* 29, 266–278. doi: 10.1080/0164212X.2013.819466
- Fairhurst, M. T., Löken, L. und Grossmann, T. (2014). Physiologische und Verhaltensreaktionen zeigen die Empfindlichkeit von 9 Monate alten Säuglingen gegenüber angenehmen Berührungen. *Psychol. Sci.* 25, 1124–1131. doi: 10.1177/0956797614527114
- Farroni, T., della Longa, L., und Valori, I. (2022). Die selbstregulierende affektive Berührung: Ein spekulativer Rahmen für die Entwicklung exekutiver Funktionen. *Curr. Opin. Behav. Sci.* 43, 167–173. doi: 10.1016/j.cobeha.2021.10.007
- Fasold, O., Heinau, J., Trenner, M. U., Villringer, A., und Wenzel, R. (2008). Propriozeptive kopfhaltungsbezogene Verarbeitung in polysensorischen kortikalen Bereichen des Menschen. *Neuroimage* 40, 1232–1242. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.12.060
- Ferrè, E. R. und Haggard, P. (2015). Vestibular-somatosensorische Interaktionen: Ein Mechanismus auf der Suche nach einer Funktion? *Multisens. Res.* 28, 559–579. doi: 10.1163/22134808-00002487
- Ferrè, E. R., und Haggard, P. (2016). Der vestibuläre Körper: Vestibuläre Beiträge zur Körperrepräsentation. *Cogn. Neuropsychol.* 33, 67–81. doi: 10.1080/02643294.2016.1168390
- Ferrè, E. R., und Haggard, P. (2020). Vestibuläre Kognition: Aktueller Stand und zukünftige Richtungen. *Cogn. Neuropsychol.* 37, 413–420. doi: 10.1080/02643294.2020.1736018
- Ferrè, E. R., Bottini, G., Iannetti, G. D., und Haggard, P. (2013). Das Gleichgewicht der Gefühle: Vestibuläre Modulation körperlicher Empfindungen. *Cortex* 49, 748–758. doi: 10.1016/j.cortex.2012.01.012
- Ferrè, E. R., Lopez, C. und Haggard, P. (2014). Das Selbst im Körper verankern: Der Beitrag des Gleichgewichtssystems zum Selbstbewusstsein. *Psychol. Sci.* 25, 2106–2108. doi: 10.1177/0956797614547917
- Finn, H., Warner, E., Price, M. und Spinazzola, J. (2018). Der Junge, der ins Gesicht geschlagen wurde: Somatische Regulierung und Verarbeitung präverbaler komplexer Traumata. *J. Child Adolesc. Trauma* 11, 277–288. doi: 10.1007/s40653-017-0165-9
- Fischer, G. und Riedesser, P. (1999). *Lehrbuch der Psychotraumatologie*. Stuttgart: UTB.
- Fisher, J. (2011). Sensorimotorische Ansätze zur Traumabehandlung. *Adv. Psychiatr. Treatment* 17, 171–177. doi: 10.1192/apt.bp.109.007054
- Fisher, J. (2019). Sensorimotorische Psychotherapie bei der Behandlung von Traumata. *Pract. Innov.* 4, 156–165. doi: 10.1037/pri0000096
- Fleischmann, A., und Urca, G. (1988). Clip-induzierte Analgesie und Immobilität bei Mäusen: Pharmakologische Charakterisierung. *Neuropharmacology* 27, 641–648. doi: 10.1016/0028-3908(88)90187-6
- Foa, E. B., und Hearst-Ikeda, D. (1996). „Emotionale Dissoziation als Reaktion auf Traumata: Ein informationsverarbeitender Ansatz“, in *Handbuch der Dissoziation*, Hrsg. L. K. Michelson und W. J. Ray (New York, NY: Springer), 207–225. doi: 10.1007/978-1-4899-0310-5_10
- Foa, E. B., Ehlers, A., Clark, D. M., Tolin, D. F. und Orsillo, S. M. (1999). The posttraumatic cognitions inventory (PTCI): Development and validation. *Psychol. Assess.* 11, 303–314. doi: 10.1037/1040-3590.11.3.303
- Fotopoulou, A. und Tsakiris, M. (2017). Mentalisierung der Homöostase: Die sozialen Ursprünge der interozeptiven Inferenz. *Neuropsychanalyse* 19, 3–28. doi: 10.1080/15294145.2017.1294031
- Fragkaki, I., Stins, J., Roelofs, K., Jongedijk, R. A. und Haganaars, M. A. (2016). Tonische Immobilität unterscheidet Stressreaktionen bei PTBS. *Brain Behav.* 6:e00546. doi: 10.1002/brb3.546
- Fraley, R. C., Fazzari, D. A., Bonanno, G. A. und Dekel, S. (2006). Bindung und psychologische Anpassung bei Überlebenden der Anschläge vom 11. September auf das World Trade Center mit hoher Exposition. *Pers. Soc. Psychol. Bull.* 32, 538–551. doi: 10.1177/0146167205282741
- Francis, D. D., Champagne, F. C. und Meaney, M. J. (2000). Variationen im mütterlichen Verhalten stehen im Zusammenhang mit Unterschieden im Oxytocinrezeptorspiegel bei Ratten. *J. Neuroendocrinol.* 12, 1145–1148. doi: 10.1046/j.1365-2826.2000.00599.x
- Frank, S. M. und Greenlee, M. W. (2018). Der parieto-insuläre vestibuläre Kortex beim Menschen: Mehr als ein einzelner Bereich? *J. Neurophysiol.* 120, 1438–1450. doi: 10.1152/jn.00907.2017
- Fraser, K., MacKenzie, D., und Versnel, J. (2017). Komplexe Traumata bei Kindern und Jugendlichen: Eine Übersicht über sensorische Interventionen. *Occup. Ther. Ment. Health* 33, 199–216. doi: 10.1080/0164212X.2016.1265475
- Fregoso, G., Wang, A., Tseng, K. und Wang, J. (2019). Übergang von akuten zu chronischen Schmerzen: Bewertung des Risikos für chronische postoperative Schmerzen. *Pain Phys.* 22, 479–488. doi: 10.36076/ppj/2019.22.479
- French, J. D. und Magoun, H. W. (1952). Auswirkungen chronischer Läsionen im zentralen Hirnstamm von Affen. *Arch. Neurol. Psychiatry* 68, 591–604. doi: 10.1001/archneurpsyc.1952.02320230017002
- Frewen, P. A. und Lanius, R. A. (2006). Auf dem Weg zu einer Psychobiologie der posttraumatischen Selbstregulation: Wiedererleben, Hyperarousal, Dissoziation und emotionale Betäubung. *Ann. N Y Acad. Sci.* 1071, 110–124. doi: 10.1196/annals.1364.010
- Frewen, P. A. und Lanius, R. A. (2015). *Heilung des traumatisierten Selbst: Bewusstsein, Neurowissenschaften, Behandlung*. New York, NY: North and Company.
- Fritzsche, B., Kopecky, B. J. und Duncan, J. S. (2014). „Entwicklung des vestibulären Systems bei Säugetieren: Evolution der Form zur Erkennung von Winkel- und Schwerkraftbeschleunigung“, in: *Entwicklung des auditorischen und vestibulären Systems*, Hrsg. R. Romand I und Varela-Nieto (San Diego, CA: Academic Press), 339–367.
- Furman, J. M., Jacob, R. G. und Redfern, M. S. (1998). Klinischer Nachweis, dass das vestibuläre System an der autonomen Steuerung beteiligt ist. *J. Vestib. Res. Equilibrium Orientat.* 8, 27–34. doi: 10.3233/ves-1998-8104
- Gallace, A., und Spence, C. (2010). Die Wissenschaft der zwischenmenschlichen Berührung: Ein Überblick. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 34, 246–259. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.10.004
- Gallagher, M., Kearney, B., und Ferrè, E. (2021). Wo ist meine Hand im Raum? Das interne Modell der Schwerkraft beeinflusst die Propriozeption. *Biol. Lett.* 17:20210115. doi: 10.1098/rsbl.2021.0115
- Gallup, G. G. (1977). Tonische Immobilität: Die Rolle von Angst und Raubtieren. *Psychol. Record* 27, 41–61. doi: 10.1007/bf03394432
- Gdowski, G. T. und McCrea, R. A. (2000). Propriozeptive Eingaben des Halses an Neuronen des vestibulären Nucleus von Primaten. *Exp. Brain Res.* 135, 511–526. doi: 10.1007/s002210000542
- Gene-Cos, N., Fisher, J., Ogden, P. und Cantrel, A. (2016). Sensorimotorische Psychotherapie in der Gruppenbehandlung komplexer PTBS. *Ann. Psychiatry Ment. Health* 4, 156–165.
- Ghafoori, B., Hierholzer, R., Howsepian, B. und Boardman, A. (2008). Die Rolle von Bindung im Erwachsenenalter, elterlicher Bindung und spiritueller Liebe bei der Bewältigung von militärischen Traumata. *J. Trauma Dissoc.* 9, 85–106. doi: 10.1080/15299730802073726
- Gilbert, C. D. und Sigman, M. (2007). Gehirnzustände: Top-down-Einflüsse in der sensorischen Verarbeitung. *Neuron* 54, 677–696. doi: 10.1016/j.neuron.2007.05.019
- Gillespie, P. G. und Walker, R. G. (2001). Molekulare Grundlagen der mechanosensorischen Transduktion. *Nature* 413, 194–202. doi: 10.1038/35093011
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I. und Matthews, P. B. C. (1972). Propriozeptive Illusionen, hervorgerufen durch Muskelvibration: Beitrag der Muskelspindeln zur Wahrnehmung? *Science* 175, 1382–1384. doi: 10.1126/science.175.4028.1382

- Grantyn, A., Moschovakis, A. K. und Kitama, T. (2005). Steuerung von Orientierungsbewegungen: Rolle multipler tektaler Projektionen des unteren Hirnstamms. *Prog. Brain Res.* 143, 423–438. doi: 10.1016/S0079-6123(03)43040-9
- Griffin, M. G., Resick, P. A. und Mechanic, M. B. (1997). Objektive Bewertung peritraumatischer Dissoziation: Psychophysiologische Indikatoren. *Am. J. Psychiatry* 154, 1081–1088. doi: 10.1176/ajp.154.8.1081
- Guldin, W. O., Akbarian, S. und Grüsser, O. J. (1992). Kortikokortikale Verbindungen und Zytarchitektur des vestibulären Kortex von Primaten: Eine Studie an Totenkopffaffen (*Saimiri sciureus*). *J. Comp. Neurol.* 326, 375–401. doi: 10.1002/cne.903260306
- Guldin, W. O. und Grüsser, O. J. (1998). Gibt es einen vestibulären Kortex? *Trends Neurosci.* 21, 254–259. doi: 10.1016/S0166-2236(97)01211-3
- Guzmán-Flores, C., Buendía, N., Anderson, C., und Lindsley, D. B. (1962). Kortikale und retikuläre Einflüsse auf evozierte Reaktionen in den Kernen der dorsalen Säule. *Exp. Neurol.* 5, 37–46. doi: 10.1016/0014-4886(62)90068-7
- Hadders-Algra, M. (2007). Mutmaßliches neuronales Substrat normaler und abnormaler allgemeiner Bewegungen. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 31, 1181–1190. doi: 10.1016/j.neubiorev.2007.04.009
- Halvorsen, J. Ø., Stenmark, H., Neuner, F. und Nordahl, H. M. (2014). Moderiert Dissoziation die Behandlungsergebnisse der narrativen Expositionstherapie bei PTBS? Eine Sekundäranalyse aus einer randomisierten kontrollierten klinischen Studie. *Behav. Res. Ther.* 57, 21–28. doi: 10.1016/j.brat.2014.03.010
- Hamed, R., Mizrahi, L., Granovsky, Y., Issachar, G., Yuval-Greenberg, S. und Bar-Shalita, T. (2022). Neurofeedback-Therapie bei sensorischer Überreaktivität – Eine Machbarkeitsstudie. *Sensors* 22:1845. doi: 10.3390/s22051845
- Hansen, M., Ross, J. und Armour, C. (2017). Nachweis des dissoziativen PTBS-Subtyps: Eine systematische Literaturübersicht zu latenten Klassen- und Profilanalysestudien zu PTBS. *J. Affect. Disorder.* 213, 59–69. doi: 10.1016/j.jad.2017.02.004
- Harricharan, S., McKinnon, M. C. und Lanius, R. A. (2021). Wie die Verarbeitung sensorischer Informationen aus der inneren und äußeren Welt die Wahrnehmung und Auseinandersetzung mit der Welt nach einem Trauma prägt: Implikationen für PTBS. *Front. Neurosci.* 15:625490. doi: 10.3389/fnins.2021.625490
- Harricharan, S., McKinnon, M. C., Tursich, M., Densmore, M., Frewen, P., Théberge, J. et al. (2019). Überlappende frontoparietale Netzwerke als Reaktion auf Augenbewegungen und traumatische autobiografische Erinnerungen: Implikationen für die Desensibilisierung und Aufarbeitung durch Augenbewegungen. *Eur. J. Psychotraumatol.* 10:1586265. doi: 10.1080/2008198.2019.1586265
- Harricharan, S., Nicholson, A. A., Densmore, M., Théberge, J., McKinnon, M. C., Neufeld, R. W. J., et al. (2017). Sensorische Überlastung und Ungleichgewicht: Vestibuläre Konnektivität im Ruhezustand bei PTBS und ihrem dissoziativen Subtyp. *Neuropsychologia* 106, 169–178. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2017.09.010
- Harricharan, S., Rabellino, D., Frewen, P. A., Densmore, M., Théberge, J., McKinnon, M. C., et al. (2016). fMRI-funktionelle Konnektivität des periaquäduktalen Graus bei PTBS und ihrem dissoziativen Subtyp. *Brain Behav.* 6:e00579. doi: 10.1002/brb3.579
- Hebb, D. O. (1949). *Die Organisation des Verhaltens: Eine neuropsychologische Theorie*. New York, NY: Wiley.
- Heidt, J. M., Marx, B. P. und Forsyth, J. P. (2005). Tonische Immobilität und sexueller Missbrauch in der Kindheit: Ein vorläufiger Bericht zur Bewertung der Folgen einer durch Vergewaltigung verursachten Lähmung. *Behav. Res. Ther.* 43, 1157–1171. doi: 10.1016/j.brat.2004.08.005
- Heim, C., Young, L. J., Newport, D. J., Mletzko, T., Miller, A. H. und Nemeroff, C. B. (2009). Niedrigere Oxytocin-Konzentrationen im Liquor bei Frauen mit Kindesmissbrauch in der Vorgeschichte. *Mol. Psychiatry* 14, 954–958. doi: 10.1038/mp.2008.112
- Henderson, P., Rosen, D. und Mascaró, N. (2007). Empirische Studie zur heilenden Wirkung von Mandalas. *Psychol. Aesthet. Creat. Arts* 1, 148–154. doi: 10.1037/1931-3896.1.3.148
- Herman, J. L. (1992). *Trauma und Genesung*. New York, NY: BasicBooks.
- Hernandez, E., und Das, J. M. (2020). *Neuroanatomie, Nucleus vestibularis*. Florida, FL: StatPearls Publishing.
- Herrick, C. J. (1956). *Die Evolution der menschlichen Natur*. Austin, TX: University of Texas Press.
- Herrmann, C. S., und Knight, R. T. (2001). Mechanismen der menschlichen Aufmerksamkeit: Ereignisbezogene Potenziale und Oszillationen. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 25, 465–476. doi: 10.1016/S0149-7634(01)00027-6
- Highstein, S. M., und Holstein, G. R. (2006). „Die Anatomie der vestibulären Kerne“, in *Neuroanatomie des okulomotorischen Systems*, Band 151, hrsg. von J. A. Büttner-Ennever (Amsterdam: Elsevier), 108–123.
- Hitier, M., Besnard, S., Smith, P. F. und Pereira, A. (2014). Vestibular pathways involved in cognition. *Front. Integr. Neurosci.* 8:59. doi: 10.3389/fnint.2014.00059
- Hofer, M. A. (1970). Herz- und Atemfunktion während plötzlicher längerer Bewegungslosigkeit bei wildlebenden Nagetieren. *Psychos. Med.* 32, 633–648. doi: 10.1097/00006842-197011000-00008
- Hoffe, M. E. und Balaban, C. D. (2011). Vestibuläre Rehabilitation: Bereit für den Mainstream. *NeuroRehabilitation* 29, 125–125. doi: 10.3233/NRE-2011-0686
- Holstein, G. R. (2012). „Das vestibuläre System“, in *Das menschliche Nervensystem*, 3. Auflage, Hrsg. J. K. Mai und G. Paxinos (Amsterdam: Elsevier), 1239–1269.
- Horn, A. K. und Adamzyk, C. (2012). „Reticular formation: Eye movements, gaze and blinks“, in *The human nervous system*, 3. Auflage, Hrsg. J. K. Mai und G. Paxinos (Amsterdam: Elsevier), 328–366. doi: 10.1016/S0079-6123(08)00616-X
- Huber, J., Ruehl, M., Flanagan, V. und zu Eulenburg, P. (2021). Die Abgrenzung neuronaler Reaktionen und funktioneller Verbindungsänderungen während vestibulärer und nozizeptiver Stimulation offenbart die Einzigartigkeit der kortikalen vestibulären Verarbeitung. *Brain Structure Funct.* 227, 779–791. doi: 10.1007/s00429-021-02394-6
- Hurley, R. A., Flashman, L. A., Chow, T. W. und Taber, K. H. (2010). Der Hirnstamm: Anatomie, Beurteilung und klinische Syndrome. *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci.* 22, iv–7. doi: 10.1176/jnp.2010.22.1.iv
- Ibitoye, R. T., Mallas, E.-J., Bourke, N. J., Kaski, D., Bronstein, A. M. und Sharp, D. J. (2022). Der vestibuläre Kortex des Menschen: Funktionelle Anatomie von OP2, seine Konnektivität und die Auswirkungen von Vestibulärenerkrankungen. *Cereb. Cortex*, bhac085, 1–16. doi: 10.1093/cercor/bhac085
- Jamon, M. (2014). Die Entwicklung des Gleichgewichtssystems und damit verbundener Funktionen bei Säugetieren: Einfluss der Schwerkraft. *Front. Integr. Neurosci.* 8:11. doi: 10.3389/fnint.2014.00011
- Janet, P. (1889). *L'automatisme psychologique: Essai de psychologie expérimentale sur les formes inférieures de l'activité humaine*, Band 2. London: Forgotten Books.
- Jensen, O., und Mazaheri, A. (2010). Gestaltung der funktionellen Architektur durch oszillierende Alpha-Aktivität: Gating durch Hemmung. *Front. Hum. Neurosci.* 4:186. doi: 10.3389/fnhum.2010.00186
- Jones, S. R., und Sliva, D. D. (2020). Ist Alpha-Asymmetrie ein Nebenprodukt oder eine Ursache räumlicher Aufmerksamkeit? Neue Belege dafür, dass Alpha-Neurofeedback Messgrößen der räumlichen Aufmerksamkeit steuert. *Neuron* 105, 404–406. doi: 10.1016/j.neuron.2019.12.033
- Jönsson, E. H., Kotilahti, K., Heiskala, J., Wasling, H. B., Olausson, H., Croy, I., et al. (2018). Affektive und nicht-affektive Berührungen rufen unterschiedliche Gehirnreaktionen bei 2 Monate alten Säuglingen hervor. *NeuroImage* 169, 162–171. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.12.024
- Joseph, R. Y., Casteleijn, D., van der Linde, J., und Franzsen, D. (2021). Sensorische Modulationsstörungen bei traumatisierten Kindern: Eine Übersichtsarbeit. *J. Child Adolesc. Trauma* 14, 455–470. doi: 10.1007/s40653-020-00333-x
- Kar, N. (2011). Kognitive Verhaltenstherapie zur Behandlung der posttraumatischen Belastungsstörung: Eine Übersicht. *Neuropsychiatr. Dis. Treatment* 7, 167–181. doi: 10.2147/NDT.S10389
- Keay, K. A. und Bandler, R. (2001). Parallele Schaltkreise, die unterschiedliche emotionale Bewältigungsreaktionen auf verschiedene Arten von Stress vermitteln. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 25, 669–678. doi: 10.1016/S0149-7634(01)00049-5
- Kemp, K., Signal, T., Botros, H., Taylor, N., und Prentice, K. (2014). Pferdegestützte Therapie mit Kindern und Jugendlichen, die sexuell missbraucht wurden: Eine Programmbewertungsstudie. *J. Child Fam. Stud.* 23, 558–566. doi: 10.1007/s10826-013-9718-1
- Kendall, E. und Maujean, A. (2015). Pferdespiel: Eine kurze psychologische Intervention für unmotivierte Jugendliche. *J. Creat. Ment. Health* 10, 46–61. doi: 10.1080/15401383.2014.962720
- Kind, S., und Otis, J. D. (2019). Die Wechselwirkung zwischen chronischen Schmerzen und PTBS. *Curr. Headache Pain Rep.* 23, 1–7. doi: 10.1007/s11916-019-0828-3
- Kirsch, L. P., Besharati, S., Papadaki, C., Crucianelli, L., Bertagnoli, S., Ward, N., et al. (2020). Eine Schädigung der rechten Insula stört die Wahrnehmung affektiver Berührungen. *eLife* 9:e47895. doi: 10.7554/eLife.47895
- Klasen, M., Chen, Y. H., und Mathiak, K. (2012). Multisensorische Emotionen: Wahrnehmung, Kombination und zugrunde liegende neuronale Prozesse. *Rev. Neurosci.* 23, 381–302. doi: 10.1515/revneuro-2012-0040
- Kleindienst, N., Limberger, M. F., Ebner-Priemer, U. W., Keibel-Mauchnik, J., Dyer, A., Berger, M., et al. (2011). Dissoziation sagt eine schlechte Reaktion auf dialektische Verhaltenstherapie bei weiblichen Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung voraus. *J. Pers. Disorder.* 25, 432–447. doi: 10.1521/pedi.2011.25.4.432
- Klemm, W. R. (1971). Neurophysiologische Untersuchungen zum Immobilitätsreflex („Tierhypnose“). *Neurosci. Res.* 4, 165–212. doi: 10.1016/b978-0-12-512504-8.50011-1
- Kluetsch, R. C., Ros, T., Théberge, J., Frewen, P. A., Calhoun, V. D., Schmahl, C., et al. (2014). Plastische Modulation von PTSD-Netzwerken im Ruhezustand und subjektives

- durch EEG-Neurofeedback. *Acta Psychiatr. Scand.* 130, 123–136. doi: 10.1111/acps.12229
- Koelsch, S., Jacobs, A. M., Menninghaus, W., Liebal, K., Klann-Delius, G., von Scheve, C., et al. (2015). Die Quartett-Theorie der menschlichen Emotionen: Ein integratives und neurofunktionelles Modell. *Phys. Life Rev.* 13, 1–27. doi: 10.1016/j.plev.2015.03.001
- Kolb, B. E., und Tees, R. C. (1990). *Die Großhirnrinde der Ratte*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Koopman, C., Carrion, V., Butler, L. D., Sudhakar, S., Palmer, L., und Steiner, H. (2004). Beziehungen zwischen Dissoziation und Kindesmissbrauch und Vernachlässigung mit der Herzfrequenz bei straffälligen Jugendlichen. *J. Trauma. Stress* 17, 47–54. doi: 10.1023/B:JOTS.0000014676.83722.35
- Kosinski, R. J., Lee, H. S. und Mihailoff, G. A. (1988). Eine doppelte retrograde Fluoreszenz-Tracing-Analyse der dorsalen Säulen-Kernprojektionen zu den basalen Pontinuklei, dem Thalamus und dem Colliculus superior. *Neurosci. Lett.* 85, 40–46. doi: 10.1016/0304-3940(88)90425-9
- Koutsikou, S., Crook, J. J., Earl, E. V., Leith, J. L., Watson, T. C., Lumb, B. M., et al. (2014). Neuronale Substrate, die der durch Angst ausgelösten Erstarrung zugrunde liegen: Die Verbindung zwischen periaquäduktaler grauer Substanz und Kleinhirn. *J. Physiol.* 592, 2197–2213. doi: 10.1113/jphysiol.2013.268714
- Kozłowska, K., Walker, P., McLean, L., und Carrière, P. (2015). Angst und die Abwehrkaskade: Klinische Implikationen und Management. *Harvard Rev. Psychiatry* 23, 263–287. doi: 10.1097/HRP.0000000000000065
- Krammer, S., Kleim, B., Simmen-Janevska, K. und Maercker, A. (2016). Kindheitstrauma und komplexe posttraumatische Belastungsstörungen bei älteren Erwachsenen: Eine Studie zu direkten Auswirkungen und sozialen und zwischenmenschlichen Faktoren als potenzielle Mediatoren. *J. Trauma Dissoc.* 17, 593–607. doi: 10.1080/15299732.2014.991861
- Kratzer, L., Heinz, P., Pfützer, F., Padberg, F., Jobst, A., und Schennach, R. (2018). Achtsamkeit und pathologische Dissoziation vermitteln vollständig den Zusammenhang zwischen Kindesmissbrauch und PTBS-Symptomatik. *Eur. J. Trauma Dissoc.* 2, 593–607. doi: 10.1016/j.ejtd.2017.06.004
- Kurjak, A., Tikvica, A., Stanojevic, M., Miskovic, B., Ahmed, B., Azumendi, G., et al. (2008). Die Beurteilung des fetalen Neuroverhaltens mittels dreidimensionaler und vierdimensionaler Ultraschalluntersuchung. *J. Maternal Fetal Neonatal. Med.* 21, 675–684. doi: 10.1080/14767050802212166
- LaBerge, D., Carter, M., und Brown, V. (1992). Eine Netzwerksimulation der Thalamus-Schaltkreise bei selektiver Aufmerksamkeit. *Neural. Comput.* 4, 318–331. doi: 10.1162/neco.1992.4.3.318
- Lackner, J. R. (1988). Einige propriozeptive Einflüsse auf die Wahrnehmungsrepräsentation von Körperform und -orientierung. *Brain* 111, 281–287. doi: 10.1093/brain/111.2.281
- Lacquaniti, F., Bosco, G., Gravano, S., Indovina, I., la Scaleia, B., Maffei, V., et al. (2015). Gravity in the brain as a reference for space and time perception. *Multisens. Res.* 28, 397–426. doi: 10.1163/22134808-00002471
- Lane, S. J., Mailloux, Z., Schoen, S., Bundy, A., May-Benson, T. A., Parham, L. D., et al. (2019). Neuronale Grundlagen der sensorischen Integration nach Ayres. *Brain Sci.* 9:153. doi: 10.3390/brainsci9070153
- Langmuir, J. I., Kirsh, S. G., und Classen, C. C. (2012). Eine Pilotstudie zur körperorientierten Gruppenpsychotherapie: Anpassung der sensomotorischen Psychotherapie für die Gruppenbehandlung von Traumata. *Psychol. Trauma Theory Res. Pract. Policy* 4, 214–220. doi: 10.1037/a0025588
- Lanius, R. A., Bluhm, R. L. und Frewen, P. A. (2011). Wie das Verständnis der Neurobiologie komplexer posttraumatischer Belastungsstörungen die klinische Praxis beeinflussen kann: Ein sozialkognitiver und affektiver neurowissenschaftlicher Ansatz. *Acta Psychiatr. Scand.* 124, 331–348. doi: 10.1111/j.1600-0447.2011.01755.x
- Lanius, R. A., Bluhm, R. L., Coupland, N. J., Hegadoren, K. M., Rowe, B., Théberge, J., et al. (2010a). Die Konnektivität des Default Mode Network als Prädiktor für die Schwere der Symptome einer posttraumatischen Belastungsstörung bei akut traumatisierten Personen. *Acta Psychiatr. Scand.* 121, 33–40. doi: 10.1111/j.1600-0447.2009.01391.x
- Lanius, R. A., Rabellino, D., Boyd, J. E., Harricharan, S., Frewen, P. A. und McKinnon, M. C. (2017). Das angeborene Alarmsystem bei PTBS: Bewusste und unbewusste Verarbeitung von Bedrohungen. *Curr. Opin. Psychol.* 14, 109–115. doi: 10.1016/j.copsyc.2016.11.006
- Lanius, R. A., Terpou, B. A. und McKinnon, M. C. (2020). Das Selbstgefühl nach einem Trauma: Erkenntnisse aus dem Default Mode Network bei posttraumatischer Belastungsstörung. *Eur. J. Psychotraumatol.* 11:1807703. doi: 10.1080/2008198.2020.1807703
- Lanius, R. A., Vermetten, E., Loewenstein, R. J., Brand, B., Christian, S., Bremner, J. D., et al. (2010b). Emotionsmodulation bei PTBS: Klinische und neurobiologische Belege für einen dissoziativen Subtyp. *Am. J. Psychiatry* 167, 640–647. doi: 10.1176/appi.ajp.2009.09081168
- Lanius, R. A., Williamson, P. C., Bluhm, R. L., Densmore, M., Boksman, K., Neufeld, R. W. J., et al. (2005). Funktionelle Konnektivität dissoziativer Reaktionen bei posttraumatischer Belastungsstörung: Eine funktionelle Magnetresonanztomographie-Untersuchung. *Biol. Psychiatry* 57, 873–884. doi: 10.1016/j.biopsych.2005.01.011
- LeBois, L. A. M., Harnett, N. G., van Rooij, S. J. H., Ely, T. D., Jovanovic, T., Bruce, S. E., et al. (2022). Persistente Dissoziation und ihre neuronalen Korrelate bei der Vorhersage von Ergebnissen nach Traumatisierung. *Am. J. Psychiatry* 179, 661–672. doi: 10.1176/appi.ajp.21090911
- Lecanuet, J., und Schaal, B. (2002). Sensorische Leistungen des menschlichen Fötus: Eine kurze Zusammenfassung der Forschung. *Intellectica* 34, 29–56. doi: 10.3406/intel.2002.1072
- Leggenghager, B., und Lopez, C. (2015). „Vestibular contributions to the sense of body, self, and others“ (Vestibuläre Beiträge zum Körpergefühl, Selbstbewusstsein und Bewusstsein für andere), in *Open MIND*, Hrsg. T. Metzinger und J. M. Windt (Frankfurt: MIND Group), 1–38. doi: 10.5167/uzh-139675
- Leggenghager, B., Pazzaglia, M., Scivoletto, G., Molinari, M., und Aglioti, S. M. (2012). Das Körpergefühl bei Menschen mit Rückenmarksverletzungen. *PLoS One* 7:e50757. doi: 10.1371/journal.pone.0050757
- Leggenghager, B., Smith, S. T. und Blanke, O. (2006). Funktionelle und neuronale Mechanismen der Verkörperung: Bedeutung des vestibulären Systems und der temporal-parietalen Verbindung. *Rev. Neurosci.* 17, 643–657. doi: 10.1515/REVNEURO.2006.17.6.643
- Leggenghager, B., Tadi, T., Metzinger, T., und Blanke, O. (2007). Video ergo sum: Manipulation des körperlichen Selbstbewusstseins. *Science* 317, 1096–1099. doi: 10.1126/science.1143439
- Lentini, J. A. und Knox, M. S. (2015). Pferdegestützte Psychotherapie mit Kindern und Jugendlichen: Ein Update und Literaturüberblick. *J. Creat. Ment. Health* 10, 278–305. doi: 10.1080/15401383.2015.1023916
- Leong, A. T. L., Gu, Y., Chan, Y. S., Zheng, H., Dong, C. M., Chan, R. W., et al. (2019). Optogenetische fMRT-Untersuchung der zentralen vestibulären Bahnen im gesamten Gehirn. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116, 10122–10129. doi: 10.1073/pnas.1812453116
- Levine, P. A. (2010). *Mit unausgesprochener Stimme: Wie der Körper Traumata löscht und das Gute wiederherstellt*. Berkeley, CA: North Atlantic Books.
- Liddell, B., Brown, K., Kemp, A., Barton, M., Das, P., Peduto, A., et al. (2005). Ein direktes „Alarmsystem“ zwischen Hirnstamm, Amygdala und Kortex für unterschwellige Angstsignale. *NeuroImage* 24, 235–243. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.08.016
- Lipovsek, M., und Wingate, R. J. T. (2018). Konservierte und divergente Entwicklung der vestibulären und auditorischen Kerne des Hirnstamms. *eLife* 7:e40232. doi: 10.7554/eLife.40232
- Liu, D., Diorio, J., Day, J. C., Francis, D. D., und Meaney, M. J. (2000). Mütterliche Fürsorge, Synaptogenese im Hippocampus und kognitive Entwicklung bei Ratten. *Nat. Neurosci.* 3, 799–806. doi: 10.1038/77702
- Liu, X., Chen, C., Liu, Y., Wang, Z., Huang, K., Wang, F., et al. (2018). Sanfte Behandlung schwächt angeborene Abwehrreaktionen auf visuelle Bedrohungen ab. *Front. Behav. Neurosci.* 12:239. doi: 10.3389/fnbeh.2018.00239
- Llinás, R. (1970). „Neuronale Vorgänge in Kleinhirn-Transaktionen“, in *The neurosciences: Second study program*, Hrsg. von F. O. Schmitt (New York, NY: Rockefeller Univ Press), 409–426.
- Löken, L. S., Wessberg, J., Morrison, I., McGlone, F. und Olsson, H. (2009). Kodierung angenehmer Berührungen durch unmyelinisierte Afferenzen beim Menschen. *Nat. Neurosci.* 12, 547–548. doi: 10.1038/nn.2312
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M. und Haggard, P. (2008). Was ist Verkörperung? Ein psychometrischer Ansatz. *Cognition* 107, 978–998. doi: 10.1016/j.cognition.2007.12.004
- Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M. und Haggard, P. (2009). Selbstbewusstsein und Körperbild. *Acta Psychol.* 132, 978–998. doi: 10.1016/j.actpsy.2009.02.003
- Lopes da Silva, F. (1991). Neuronale Mechanismen, die Gehirnwellen zugrunde liegen: Von neuronalen Membranen zu Netzwerken. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 72, 81–93. doi: 10.1016/0013-4694(91)90044-5hu
- Lopez, C. (2016). Das vestibuläre System: Mehr als nur das Gleichgewicht des Körpers. *Curr. Opin. Neurol.* 29, 74–83. doi: 10.1097/WCO.0000000000000286
- Lopez, C., und Blanke, O. (2011). Das thalamokortikale vestibuläre System bei Tieren und Menschen. *Brain Res. Rev.* 67, 119–146. doi: 10.1016/j.brainresrev.2010.12.002
- Lopez, C., Nakul, E., Preuss, N., Elzière, M., und Mast, F. W. (2018). Verzernte Eigenkörperwahrnehmung bei Patienten mit Schwindel und während kalorischer vestibulärer Stimulation. *J. Neurol.* 265, 86–94. doi: 10.1007/s00415-018-8906-8
- Lopez, C., Schreyer, H. M., Preuss, N. und Mast, F. W. (2012). Vestibuläre Stimulation verändert das Körperbild. *Neuropsychologia* 50, 1830–1837. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.008

- López-Solà, M., Geuter, S., Koban, L., Coan, J. A. und Wager, T. D. (2019). Gehirnmechanismen der durch soziale Berührung ausgelösten Analgesie bei Frauen. *Pain* 160, 2072–2085. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001599
- Lovick, T. A. und Bandler, R. (2005). „Die Organisation der periaquäduktalen Grauzone im Mittelhirn und die Integration von Schmerzverhalten“, in *The neurobiology of pain*, Hrsg. S. P. Hunt und M. Koltzenburg (Oxford: Oxford University Press), 267–287.
- Lowenstein, K. (2008). *Shutting down the trauma to prison pipeline: Early, appropriate care for child-welfare involved youth*. Boston, MA: Citizens for Juvenile Justice.
- Luan, H., Gdowski, M. J., Newlands, S. D. und Gdowski, G. T. (2013). Konvergenz vestibulärer und propriozeptiver sensorischer Signale im Kleinhirnrinterpositus. *J. Neurosci.* 33, 1198–1210. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3460-12.2013
- Lubeck, J., Schaaf, R. C. und Dumont, R. L. (2020). *Auswirkungen von Schaukeln auf Aufmerksamkeit und Erregung*. Philadelphia, PA: Thomas Jefferson University.
- Luderscher, C. A., Bohus, M., Lieb, K., Philipsen, A., Jochims, A., und Schmah, C. (2007). Erhöhte Schmerzschwellen korrelieren mit Dissoziation und aversiver Erregung bei Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung. *Psychiatry Res.* 149, 291–296. doi: 10.1016/j.psychres.2005.04.009
- Lyons-Ruth, K., Dutra, L., Schuder, M. R. und Bianchi, I. (2006). Von der Bindungsstörung im Säuglingsalter zur Dissoziation im Erwachsenenalter: Beziehungsanpassungen oder traumatische Erfahrungen? *Psychiatr. Clin. North Am.* 29, 63–86. doi: 10.1016/j.psc.2005.10.011
- Macauda, G., Bertolini, G., Palla, A., Straumann, D., Brugger, P. und Lenggenhager, B. (2015). Binding von Körper und Selbst in visuo-vestibulären Konflikten. *Eur. J. Neurosci.* 41, 810–817. doi: 10.1111/ejn.12809
- Maclean, P. D. (1985). Evolutionäre Psychiatrie und das dreiteilige Gehirn. *Psychol. Med.* 15, 219–221. doi: 10.1017/S0033291700023485
- Maier, A., Gieling, C., Heinen-Ludwig, L., Stefan, V., Schultz, J., Gunturkun, O., et al. (2020). Zusammenhang zwischen Kindesmisshandlung und zwischenmenschlicher Distanz sowie Präferenzen für soziale Berührungen im Erwachsenenalter. *Am. J. Psychiatry* 177, 37–46. doi: 10.1176/appi.ajp.2019.19020212
- Malchiodi, C. A. (2020). *Trauma und expressive Kunsttherapie: Gehirn, Körper und Vorstellungskraft im Heilungsprozess*. New York, NY: Guilford Publications.
- Malejko, K., Abler, B., Plener, P. L. und Straub, J. (2017). Neuronale Korrelate der psychotherapeutischen Behandlung von posttraumatischen Belastungsstörungen: Eine systematische Literaturübersicht. *Front. Psychiatry* 8:85. doi: 10.3389/fpsy.2017.00085
- Manzoni, D., Pompeiano, O., Barnes, C. D., Stampacchia, G. und d'Ascanio, P. (1989). Konvergenz und Interaktion von vestibulären Inputs aus dem Nacken und der Makula auf Neuronen des Locus coeruleus und Subcoeruleus. *Pflügers Arch.* 413, 580–598. doi: 10.1007/bf00581807
- Manzotti, A., Cerritelli, F., Esteves, J. E., Lista, G., Lombardi, E., la Rocca, S., et al. (2019). Dynamische Berührung reduziert die physiologische Erregung bei Frühgeborenen: Eine Rolle für c-taktile Afferenzen? *Dev. Cogn. Neurosci.* 39:100703. doi: 10.1016/j.dcn.2019.100703
- Marcus, S., Marquis, P. und Sakai, C. (2004). Drei- und sechsmonatige Nachuntersuchung einer EMDR-Behandlung von PTBS in einer HMO-Einrichtung. *Int. J. Stress Manag.* 11, 195–208. doi: 10.1037/1072-5245.11.3.195
- Marks, I., Lovell, K., Noshirvani, H., Livanou, M. und Thrasher, S. (1998). Behandlung der posttraumatischen Belastungsstörung durch Exposition und/oder kognitive Umstrukturierung: Eine kontrollierte Studie. *Arch. Gen. Psychiatry* 55, 317–325. doi: 10.1001/archpsyc.55.4.317
- Marshall, A. G. und McGlone, F. P. (2020). Affektive Berührung: Der rätselhafte spinale Weg der C-taktile Afferenzen. *Neurosci. Insights* 15, 1–5. doi: 10.1177/263105520925072
- Marshall, E. M. und Frazier, P. A. (2019). Verständnis posttraumatischer Reaktionen im Rahmen der Bindungstheorie. *Curr. Opin. Psychol.* 25, 167–171. doi: 10.1016/j.copsyc.2018.08.001
- Marx, B. P., Forsyth, J. P., Gallup, G. G., Fusé, T., und Lexington, J. M. (2008). Tonische Immobilität als entwickelte Verteidigungsstrategie gegen Raubtiere: Implikationen für Überlebende sexueller Übergriffe. *Clin. Psychol. Sci. Pract.* 15, 74–90. doi: 10.1111/j.1468-2850.2008.0.0112.x
- Marx, V. und Nagy, E. (2015). Fötale Verhaltensreaktionen auf die Stimme und Berührung der Mutter. *PLoS One* 10:e0129118. doi: 10.1371/journal.pone.0129118
- Mast, F. W., Preuss, N., Hartmann, M. und Grabherr, L. (2014). Räumliche Wahrnehmung, Körperrepräsentation und affektive Prozesse: Die Rolle vestibulärer Informationen jenseits von Augenreflexen und Haltungskontrolle. *Front. Integr. Neurosci.* 8:44. doi: 10.3389/fnint.2014.00044
- May, P. J. (2006). Der Colliculus superior bei Säugetieren: Laminare Struktur und Verbindungen. *Prog. Brain Res.* 151, 321–378. doi: 10.1016/S0079-6123(05)51011-2
- May, P. J. und Porter, J. D. (1992). Die laminare Verteilung von Tectobulbar- und Tectospinalneuronen bei Makaken. *Vis. Neurosci.* 8, 257–276. doi: 10.1017/S0952523800002911
- McCall, A. A., Miller, D. M. und Yates, B. J. (2017). Absteigende Einflüsse auf vestibulospinale und vestibulasympathische Reflexe. *Front. Neurol.* 8:112. doi: 10.3389/fneur.2017.00112
- McCullough, L., Risley-Curtiss, C. und Rorke, J. (2015). Pferdegestützte Psychotherapie: Eine Pilotstudie zu den Auswirkungen auf posttraumatische Stresssymptome bei misshandelten Jugendlichen. *J. Infant Child Adolesc. Psychother.* 14, 158–173. doi: 10.1080/15289168.2015.1021658
- McGeoch, P. D., Williams, L. E., Song, T., Lee, R. R., Huang, M. und Ramachandran, V. S. (2009). Taktile Allodynie nach Schlaganfall und ihre Modulation durch vestibuläre Stimulation: Eine MEG-Fallstudie. *Acta Neurol. Scand.* 119, 404–409. doi: 10.1111/j.1600-0404.2008.01106.x
- McGlone, F., Kelly, E. F., Trulsson, M., Francis, S. T., Westling, G. und Bowtell, R. (2002). Funktionelle Neuroimaging-Studien der somatosensorischen Hirnrinde beim Menschen. *Behav. Brain Res.* 135, 147–158. doi: 10.1016/S0166-4328(02)00144-4
- McGlone, F., Vallbo, A. B., Olausson, H., Loken, L. und Wessberg, J. (2007). Unterscheidungsfähigkeit beim Tastsinn und emotionaler Tastsinn. *Can. J. Exp. Psychol.* 61, 173–183. doi: 10.1037/cjexp2007019
- McGlone, F., Wessberg, J. und Olausson, H. (2014). Unterscheidbare und affektive Berührung: Wahrnehmen und Fühlen. *Neuron* 82, 737–755. doi: 10.1016/j.neuron.2014.05.001
- McGreevy, S., und Boland, P. (2020). Sensorische Interventionen bei erwachsenen und jugendlichen Trauma-Überlebenden: Eine integrative Übersicht über die Literatur zur Beschäftigungstherapie. *Irish J. Occup. Ther.* 48, 31–54. doi: 10.1108/IJOT-10-2019-0014
- McIntyre, S., und Seizova-Cajic, T. (2007). Nackenmuskelvibration bei vollständigen Hinweisen beeinflusst das Zeigen. *J. Vis.* 7, 1–8. doi: 10.1167/7.5.9
- McMillen, J. C., North, C. S., und Smith, E. M. (2000). Welche Teile der PTBS sind normal: Intrusion, Vermeidung oder Erregung? Daten aus dem Erdbeben in Northridge, Kalifornien. *J. Trauma. Stress* 13, 57–75. doi: 10.1023/A:100776883 0246
- Meaney, M. J. (2001). Mütterliche Fürsorge, Genexpression und die Übertragung individueller Unterschiede in der Stressreaktivität über Generationen hinweg. *Annu. Rev. Neurosci.* 24, 1161–1192. doi: 10.1146/annurev.neuro.24.1.1161
- Mendes, D. D., Mello, M. F., Ventura, P., Passarella, C. D. M. und Mari, J. D. J. (2008). Eine systematische Übersicht über die Wirksamkeit der kognitiven Verhaltenstherapie bei posttraumatischer Belastungsstörung. *Int. J. Psychiatry Med.* 38, 241–259. doi: 10.2190/PM.38.3.b
- Menon, V. (2015). „Salience Network“, in *Brain mapping: An encyclopedic reference*, Band 2, hrsg. von A. W. Toga (Elsevier: Academic Press), 597–611.
- Menon, V., und Uddin, L. Q. (2010). Salienz, Umschalten, Aufmerksamkeit und Kontrolle: Ein Netzwerkmodell der Insula-Funktion. *Brain Struct.Funct.* 214, 655–667. doi: 10.1007/s00429-010-0262-0
- Meredith, M. A., Wallace, M. T. und Stein, B. E. (1992). Visuelle, auditive und somatosensorische Konvergenz in den Ausgangsneuronen des superioren Colliculus der Katze: Multisensorische Eigenschaften der tecto-reticulo-spinalen Projektion. *Exp. Brain Res.* 88, 181–186. doi: 10.1007/BF02259139
- Merker, B. (2007). Bewusstsein ohne Großhirnrinde: Eine Herausforderung für Neurowissenschaften und Medizin. *Behav. Brain Sci.* 30, 63–81. doi: 10.1017/S0140525X07000891
- Metzinger, T. (2013). Warum sind Träume für Philosophen interessant? Das Beispiel der minimalen phänomenalen Selbstheit und eine Agenda für zukünftige Forschung. *Front. Psychol.* 4:746. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00746
- Michelson, L., June, K., Vives, A., Testa, S. und Marchione, N. (1998). Die Rolle von Trauma und Dissoziation bei kognitiv-verhaltenstherapeutischen Ergebnissen und der Aufrechterhaltung der Therapie bei Panikstörungen mit Agoraphobie. *Behav. Res. Ther.* 36, 1011–1050. doi: 10.1016/S0005-7967(98)00073-4
- Midolo, L. R., Santoro, G., Ferrante, E., Pellegriti, P., Russo, S., Costanzo, A., et al. (2020). Kindheitstrauma, Bindung und Psychopathologie: Ein Korrelationsnetzwerkansatz. *Mediterr. J. Clin. Psychol.* 8, 1–25. doi: 10.6092/2282-1619/mjcp-2418
- Mikulincer, M., Florian, V., und Weller, A. (1993). Bindungsstile, Bewältigungsstrategien und posttraumatische psychische Belastung: Die Auswirkungen des Golfkriegs in Israel. *J. Personal. Soc. Psychol.* 64, 817–826. doi: 10.1037/0022-3514.64.5.817
- Mikulincer, M., Horesh, N., Eilati, I. und Kotler, M. (1999). Der Zusammenhang zwischen Bindungsstil im Erwachsenenalter und psychischer Gesundheit unter extrem lebensbedrohlichen Bedingungen. *Personal. Individual Differ.* 27, 831–842. doi: 10.1016/S0191-8869(99)00032-X

- Mikulincer, M., Shaver, P. R. und Solomon, Z. (2015). „Eine Bindungsperspektive auf traumatische und posttraumatische Reaktionen“, in *Zukünftige Richtungen bei posttraumatischen Belastungsstörungen: Prävention, Diagnose und Behandlung*, Hrsg. M. Safir, H. Wallach und A. Rizzo (New York: Springer), 79–96. doi: 10.1007/978-1-4899-7522-5_4
- Miller, L. J., Anzalone, M. E., Lane, S. J., Cermak, S. A. und Osten, E. T. (2007). Konzeptentwicklung in der sensorischen Integration: Ein Vorschlag für eine Nosologie zur Diagnose. *Am. J. Occup. Ther.* 61, 135–140. doi: 10.5014/ajot.61.2.135
- Milligan-Saville, J. S., Paterson, H. M., Harkness, E. L., Marsh, A. M., Dobson, M., Kemp, R. I. et al. (2017). Die Verstärkung häufiger somatischer Symptome durch posttraumatische Belastungsstörungen bei Feuerwehrleuten. *J. Trauma. Stress* 30, 142–148. doi: 10.1002/jts.22166
- Montonen, O., Ezer, S., Saarialho-Kere, U. K., Hervä, R., Karjalainen-Lindsberg, M. L., Kaitila, I., et al. (1998). Das Gen, das bei anhidrotischer ektoodermaler Dysplasie defekt ist, wird im sich entwickelnden Epithel, Neuroektoderm, Thymus und Knochen exprimiert. *J. Histochem. Cytochem.* 46, 281–289. doi: 10.1177/002215549804600301
- Mora, C., Velásquez, C., und Martino, J. (2019). Die Theorie der Kreuzung der Nervenbahnen in der Mittellinie: Eine historische Analyse des Beitrags von Santiago Ramón y Cajal zur Lokalisierung des Gehirns und zur Organisation des kontralateralen Vorderhirns. *Neurosurg. Focus* 47, 1–6. doi: 10.3171/2019.6.FOCUS19341
- Morrison, I. (2016). Bleib ruhig und kuschel weiter: Soziale Berührungen als Stresspuffer. *Adapt. Hum. Behav. Physiol.* 2, 344–362. doi: 10.1007/s40750-016-0052-x
- Morrison, I., Björnsdotter, M., und Olausson, H. (2011). Stellvertretende Reaktionen auf soziale Berührungen im hinteren insularen Kortex sind auf angenehme Streichelgeschwindigkeiten abgestimmt. *J. Neurosci.* 31, 9554–9562. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0397-11.2011
- Morrison, I., Löken, L. S. und Olausson, H. (2010). Die Haut als soziales Organ. *Exp. Brain Res.* 204, 305–314. doi: 10.1007/s00221-009-2007-y
- Muller, R. T. und Rosenkranz, S. E. (2009). Bindung und Behandlungserfolg bei Erwachsenen in stationärer Behandlung wegen posttraumatischer Belastungsstörung. *Psychotherapy* 46, 82–96. doi: 10.1037/a0015137
- Murakami, D. M., Erkman, L., Hermanson, O., Rosenfeld, M. G. und Fuller, C. A. (2002). Nachweis der vestibulären Regulation autonomer Funktionen in einem genetischen Mausmodell. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99, 17078–17082. doi: 10.1073/pnas.252652299
- Myers, A. J., Williams, L., Gatt, J. M., McAuley-Clark, E. Z., Dobson-Stone, C., Schofield, P. R., et al. (2014). Variationen im Oxytocin-Rezeptor-Gen stehen in Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für Angstzustände, Stress und Depressionen bei Personen, die in ihrer Kindheit Stress ausgesetzt waren. *J. Psychiatric Res.* 59, 93–100. doi: 10.1016/j.jpsychires.2014.08.021
- Nandi, R., und Luxon, L. M. (2008). Entwicklung und Beurteilung des Gleichgewichtssystems. *Int. J. Audiol.* 47, 566–577. doi: 10.1080/14992020802324540
- Naste, T. M., Price, M., Karol, J., Martin, L., Murphy, K., Miguel, J., et al. (2018). Pferdgestützte Therapie bei komplexen Traumata (EFT-CT). *J. Child Adolesc. Trauma* 11, 289–303. doi: 10.1007/s40653-017-0187-3
- Neuper, C., und Pfurtscheller, G. (2001). Ereignisbezogene Dynamik kortikaler Rhythmen: Frequenzspezifische Merkmale und funktionelle Korrelate. *Int. J. Psychophysiol.* 43, 41–58. doi: 10.1016/S0167-8760(01)00178-7
- Nevins, R., Finch, S., Hickling, E. J., und Barnett, S. D. (2013). Das Saratoga WarHorse-Projekt: Eine Fallstudie zur Behandlung psychischer Belastungen bei einem Veteranen der Operation Iraqi Freedom. *Adv. Mind Body Med.* 27, 22–25.
- Nicholson, A. A., Friston, K. J., Zeidman, P., Harricharan, S., McKinnon, M. C., Densmore, M. et al. (2017). Dynamische Kausalmodellierung bei PTBS und ihrem dissoziativen Subtyp: Bottom-up- versus Top-down-Verarbeitung innerhalb des Angst- und Emotionsregulationskreislaufs. *Hum. Brain Mapp.* 38, 5551–5561. doi: 10.1002/hbm.23748
- Nicholson, A. A., Ros, T., Densmore, M., Frewen, P. A., Neufeld, R. W. J., Théberge, J., et al. (2020a). Eine randomisierte, kontrollierte Studie zu Alpha-Rhythmus-EEG-Neurofeedback bei posttraumatischer Belastungsstörung: Eine vorläufige Untersuchung, die Hinweise auf eine Verringerung der PTBS-Symptome und eine Wiederherstellung der Konnektivität des Default-Modus und des Salience-Netzwerks mittels fMRT zeigt. *NeuroImage* 28, 1–15. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102490
- Nicholson, A. A., Ros, T., Frewen, P. A., Densmore, M., Théberge, J., Kluetsch, R. C. et al. (2016). Alpha-Oszillations-Neurofeedback moduliert die Konnektivität des Amygdala-Komplexes und die Erregung bei posttraumatischer Belastungsstörung. *NeuroImage* 12, 506–516. doi: 10.1016/j.nicl.2016.07.006
- Nicholson, A. A., Ros, T., Jetly, R., und Lanius, R. A. (2020b). Regulierung von Symptomen der posttraumatischen Belastungsstörung mit Neurofeedback: Wiedererlangung der Kontrolle über den Geist. *J. Mil. Veteran Fam. Health* 6, 3–15. doi: 10.3138/jmvfh.2019-0032
- Nijenhuis, E. R. S., Spinhoven, P., van Dyck, R., van der Hart, O. und Vanderlinden, J. (1998a). Der Grad der somatoformen und psychologischen Dissoziation bei dissoziativen Störungen korreliert mit berichteten Traumata. *J. Trauma. Stress* 11, 711–730. doi: 10.1023/A:1024493332751
- Nijenhuis, E. R. S., Vanderlinden, J., van der Hart, O., Spinhoven, P. und van Dyck, R. (1998b). Somatoforme dissoziative Symptome im Zusammenhang mit Abwehrreaktionen von Tieren auf drohende Gefahr durch Raubtiere und Verletzungen. *J. Abnorm. Psychol.* 107, 63–73. doi: 10.1037/0021-843X.107.1.63
- Northoff, G., Heinzel, A., de Greck, M., Bermopohl, F., Dobrowolny, H. und Panksepp, J. (2006). Selbstreferenzielle Verarbeitung in unserem Gehirn: Eine Metaanalyse bildgebender Studien zum Selbst. *Neuroimage* 31, 440–457. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.12.002
- O’Haire, M. E., Guérin, N. A. und Kirkham, A. C. (2015). Tiergestützte Intervention bei Traumata: Eine systematische Literaturübersicht. *Front. Psychol.* 6:1121. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01121
- Odutola, A. B. (1977). Zur Lage der retikulären Neuronen, die zum Nucleus cuneo-gracilis bei Ratten projizieren. *Exp. Neurol.* 54, 54–59. doi: 10.1016/0014-4886(77)90234-5
- Ogawa, J. R., Sroufe, L. A., Weinfield, N. S., Carlson, E. A. und Egeland, B. (1997). Entwicklung und das fragmentierte Selbst: Längsschnittstudie zu dissoziativen Symptomen in einer nichtklinischen Stichprobe. *Dev. Psychopathol.* 9, 855–879. doi: 10.1017/s0954579497001478
- Ogden, P., Pain, C. und Fisher, J. (2006). Ein sensomotorischer Ansatz zur Behandlung von Trauma und Dissoziation. *Psychiatric Clin. North Am.* 29, 263–279. doi: 10.1016/j.psc.2005.10.012
- Ogle, C. M., Rubin, D. C. und Siegler, I. C. (2015). Der Zusammenhang zwischen unsicherer Bindung und posttraumatischem Stress: Traumata in der frühen Kindheit im Vergleich zu Traumata im Erwachsenenalter. *Psychol. Trauma* 7, 324–332. doi: 10.1037/tra0000015
- Olausson, H. W., Cole, J., Vallbo, Å., McGlone, F., Elam, M., Krämer, H. H. et al. (2008). Unmyelinisierte taktile Afferenzen haben gegensätzliche Auswirkungen auf die Verarbeitung in der Inselrinde und der somatosensorischen Rinde. *Neurosci. Lett.* 436, 128–132. doi: 10.1016/j.neulet.2008.03.015
- Olausson, H., Lamarque, Y., Backlund, H., Morin, C., Wallin, B. G., Starck, G., et al. (2002). Unmyelinisierte taktile Afferenzen signalisieren Berührungen und projizieren zum insularen Kortex. *Nat. Neurosci.* 5, 900–904. doi: 10.1038/nn896
- Olausson, H., Wessberg, J., Morrison, I., McGlone, F., und Vallbo, Å. (2010). Die Neurophysiologie unmyelinisierter taktile Afferenzen. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 34, 185–191. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.09.011
- Olivié, I., Densmore, M., Harricharan, S., Théberge, J., McKinnon, M. C. und Lanius, R. (2018). Superior colliculus resting state networks in post-traumatic stress disorder and its dissociative subtype. *Hum. Brain Mapp.* 39, 563–574. doi: 10.1002/hbm.23865
- Opacka-Juffry, J., und Mohiyeddini, C. (2012). Stresserfahrungen in der Kindheit stehen in einem negativen Zusammenhang mit der Oxytocin-Konzentration im Plasma erwachsener Männer. *Stress* 15, 1–10. doi: 10.3109/10253890.2011.560309
- Oren, E., und Solomon, R. (2012). EMDR-Therapie: Ein Überblick über ihre Entwicklung und Wirkmechanismen. *Rev. Eur. Psychol. Appl.* 62, 197–203. doi: 10.1016/j.erap.2012.08.005
- Paetold, R. L., Rholes, W. S., und Kohn, J. L. (2015). Desorganisierte Bindung im Erwachsenenalter: Theorie, Messung und Implikationen für romantische Beziehungen. *Rev. Gen. Psychol.* 19, 146–156. doi: 10.1037/gpr0000042
- Palluel, E., Aspell, J. E. und Blanke, O. (2011). Beinmuskulvibrationen modulieren das Körperbewusstsein: Integration propriozeptiver, visueller und taktile Signale. *J. Neurophysiol.* 105, 2239–2247. doi: 10.1152/jn.00744.2010
- Panksepp, J. (1998). *Affektive Neurowissenschaften: Die Grundlagen menschlicher und tierischer Emotionen*. Oxford: Oxford University Press.
- Panksepp, J. (2000). „Fear and anxiety mechanisms of the brain: Clinical implications“ (Angst- und Unruhezustände im Gehirn: Klinische Implikationen), in *Principles of Medical Biology (Band 14, Ausgabe C)*, Hrsg. E. E. Bittar und N. Bittar (Stamford: JAI Press), 155–177. doi: 10.1016/S1569-2582(00)8 0010-0
- Panksepp, J. (2005). Affektives Bewusstsein: Emotionale Grundgefühle bei Tieren und Menschen. *Conscious. Cogn.* 14, 30–80. doi: 10.1016/j.concog.2004.10.004
- Panksepp, J., und Northoff, G. (2009). Das transspezies-Kern-SELBST: Die Entstehung aktiver kultureller und neuroökologischer Agenten durch selbstbezogene Verarbeitung innerhalb subkortikal-kortikaler Mittellinien-Netzwerke. *Conscious. Cogn.* 18, 193–215. doi: 10.1016/j.concog.2008.03.002
- Panksepp, J., und Trevarthen, C. (2009). „Die Neurowissenschaft der Emotionen in der Musik“, in *Communicative musicality: Exploring the basis of human companionship*, Hrsg. S. Malloch und C. Trevarthen (Oxford: Oxford University Press), 105–146.
- Panksepp, J., Normansell, L., Cox, J. F. und Sivi, S. M. (1994). Auswirkungen der neonatalen Dekortikation auf das soziale Spielverhalten junger Ratten. *Physiol. Behav.* 56, 429–443. doi: 10.1016/0031-9384(94)90285-2
- Pawling, R., Cannon, P. R., McGlone, F. P. und Walker, S. C. (2017). C-taktile afferente stimulierende Berührungen haben einen positiven affektiven Wert. *PLoS One* 12:e0173457. doi: 10.1371/journal.pone.0173457

- Payne, P., Levine, P. A. und Crane-Godreau, M. A. (2015). Somatische Erfahrung: Interozeption und Propriozeption als Kernelemente der Traumatherapie. *Front. Psychol.* 6:1–18. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00093
- Pederson, D. R. (1975). Die beruhigende Wirkung des Schaukelns, bestimmt durch die Richtung und Frequenz der Bewegung. *Can. J. Behav. Sci.* 7, 237–243. doi: 10.1037/h0081911
- Pereyra-Elias, R., Quigley, M. A. und Carson, C. (2022). Inwieweit erklären Störfaktoren den Zusammenhang zwischen Stilldauer und kognitiver Entwicklung bis zum Alter von 14 Jahren? Ergebnisse der britischen Millennium-Kohortenstudie. *PLoS One* 17, 237–243. doi: 10.1371/journal.pone.0267326
- Perry, B. D., Pollard, R. A., Blakley, T. L., Baker, W. L. und Vigilante, D. (1995). Kindheitstrauma, die Neurobiologie der Anpassung und die „nutzungsabhängige“ Entwicklung des Gehirns: Wie „Zustände“ zu „Eigenschaften“ werden. *Infant Ment. Health J.* 16, 271–291. doi: 10.1002/1097-0355(199524)16:4<271::AID-IMHJ22801604048>3.0.CO;2-B
- Perry, B., und Hambrick, E. (2008). Das neurosequenzielle Modell der Therapie. *Reclaim. Child. Youth* 17, 38–43.
- Perry, N. E. (2019). Die frühe Kindheit als entscheidende Phase für die Entwicklung und Förderung der Selbstregulierung. *Metacogn. Learn.* 14, 327–334. doi: 10.1007/s11409-019-09213-8
- Peterson, B. W., Filion, M., Felpel, L. P. und Abzug, C. (1975). Reaktionen medialer retikulärer Neuronen auf Stimulation des Vestibularnervs. *Exp. Brain Res.* 22, 335–350. doi: 10.1007/BF00234670
- Pfaff, D. W., Martin, E. M. und Faber, D. (2012). Ursprünge der Erregung: Die Rolle der medullären retikulären Neuronen. *Trends Neurosci.* 35, 468–476. doi: 10.1016/j.tins.2012.04.008
- Pfeiffer, C., Lopez, C., Schmutz, V., Duenas, J. A., Martuzzi, R. und Blanke, O. (2013). Multisensorischer Ursprung der subjektiven Ich-Perspektive: Visuelle, taktile und vestibuläre Mechanismen. *PLoS One* 8:e61751. doi: 10.1371/journal.pone.0061751
- Piaget, J. (1952). *Die Ursprünge der Intelligenz bei Kindern*, übersetzt von M. Cook (New York: W.W. Norton and Co). doi: 10.1037/11494-000
- Piontelli, A. (2015). *Entwicklung normaler fetaler Bewegungen: Die letzten 15 Wochen der Schwangerschaft*. Berlin: Springer e-Book. doi: 10.1007/978-88-470-5373-1
- Pitman, R. K., Orr, S. P., Fargue, D. F., Jong, J. B. und Claiborn, J. M. (1987). Psychophysiologische Bewertung von Bildern posttraumatischer Belastungsstörungen bei Vietnam-Kriegsveteranen. *Arch. Gen. Psychiatr.* 44, 970–975. doi: 10.1001/archpsyc.1987.01800230050009
- Pitman, R. K., Rasmussen, A. M., Koenen, K. C., Shin, L. M., Orr, S. P., Gilbertson, M. W. et al. (2012). Biologische Studien zur posttraumatischen Belastungsstörung. *Nat. Rev. Neurosci.* 13, 769–787. doi: 10.1038/nrn3339
- Pole, N. (2007). Die Psychophysiologie der posttraumatischen Belastungsstörung: Eine Metaanalyse. *Psychol. Bull.* 133, 725–746. doi: 10.1037/0033-2909.133.5.725
- Pompeiano, O., Manzoni, D., Srivastava, U. C. und Stampacchia, G. (1984). Konvergenz und Interaktion von vestibulären Eingaben aus dem Nacken und der Makula auf retikulospinale Neuronen. *Neuroscience* 12, 111–128. doi: 10.1016/0306-4522(84)90142-8
- Ponzo, S., Kirsch, L. P., Fotopoulou, A. und Jenkinson, P. M. (2018). Balancing body ownership: Visual capture of proprioception and affectivity during vestibular stimulation. *Neuropsychologia* 117, 311–321. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.06.020
- Porro, C. A. und Carli, G. (1988). Immobilisierung und Ruhigstellungseffekte auf Schmerzreaktionen bei Tieren. *Pain* 32, 289–307. doi: 10.1016/0304-3959(88)90041-3
- Portas, C. M., Rees, G., Howseman, A. M., Josephs, O., Turner, R., und Frith, C. D. (1998). Eine spezifische Rolle des Thalamus bei der Vermittlung der Interaktion von Aufmerksamkeit und Erregung beim Menschen. *J. Neurosci.* 18, 8979–8989. doi: 10.1523/JNEUROSCI.18-21-08979.1998
- Price, M., Spinazzola, J., Musicaro, R., Turner, J., Suvak, M., Emerson, D., et al. (2017). Wirksamkeit einer erweiterten Yoga-Behandlung für Frauen mit chronischer posttraumatischer Belastungsstörung. *J. Alternat. Complement. Med.* 23, 300–309. doi: 10.1089/acm.2015.0266
- Putnam, F. W., Guroff, J. J., Silberman, E. K., Barban, L., und Post, R. M. (1986). Die klinische Phänomenologie der multiplen Persönlichkeitsstörung: Überprüfung von 100 aktuellen Fällen. *J. Clin. Psychiatry* 47, 285–293.
- Rabellino, D., Thome, J., Densmore, M., Théberge, J., McKinnon, M. C. und Lanius, R. A. (2022). Das Vestibulocerebellum und das zerbrochene Selbst: Eine Studie zur funktionellen Konnektivität im Ruhezustand bei posttraumatischer Belastungsstörung und ihrem dissoziativen Subtyp. *Cerebellum*. 1–15. doi: 10.1007/s12311-022-01467-4
- Raio, C. M., Oederu, T. A., Palazzolo, L., Shurick, A. A. und Phelps, E. A. (2013). Kognitive Emotionsregulation versagt im Stresstest. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 15139–15144. doi: 10.1073/pnas.1305701110
- Raiser, T., Flanagan, V., Duering, M., van Ombergen, A., Ruehl, R. und zu Eulenburg, P. (2020). Das kortikokortikale vestibuläre Netzwerk des Menschen. *NeuroImage* 223:117362. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.117362
- Rao, R. P. N. und Sejnowski, T. J. (2001). Spike-Timing-Dependent Hebbian Plasticity as Temporal Difference Learning. *Neural Comput.* 13, 2221–2237. doi: 10.1162/089976601750541787
- Raessi, S., Lensink, B. J., Boissy, A., Pykkönen, M., und Veissier, I. (2003). Der Einfluss des Kontakts mit Artgenossen und Menschen auf das Verhalten und die Stressreaktionen von Kälbern. *Anim. Welf.* 12, 191–202.
- Reddan, M. C., Young, H., Falkner, J., López-Solà, M. und Wager, T. D. (2020). Berührung und soziale Unterstützung beeinflussen die zwischenmenschliche Synchronität und Schmerzen. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 15, 1064–1075. doi: 10.1093/scan/nsaa048
- Reinders, A. A. T. S., Nijenhuis, E. R. S., Paans, A. M. J., Korf, J., Willemsen, A. T. M. und den Boer, J. A. (2003). Ein Gehirn, zwei Identitäten. *NeuroImage* 20, 2119–2125. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.021
- Reinders, A. A. T. S., und Veltman, D. J. (2021). Dissoziative Identitätsstörung: Endlich aus dem Schatten getreten? *Br. J. Psychiatry* 219, 413–414. doi: 10.1192/bjp.2020.168
- Reynolds, S., Lane, S. J. und Mullen, B. (2015). Auswirkungen tiefer Druckstimulation auf die physiologische Erregung. *Am. J. Occup. Ther.* 69, 6903350010p1–6903350010p5. doi: 10.5014/ajot.2015.015560
- Risser, H. J., Hetzel-Riggin, M. D., Thomsen, C. J. und McCanne, T. R. (2006). PTSD als Mediator sexueller Reviktimisierung: Die Rolle von Wiedererleben, Vermeidung und Erregungssymptomen. *J. Trauma. Stress* 19, 687–698. doi: 10.1002/jts.20156
- Roche, D. N., Runtz, M. G. und Hunter, M. A. (1999). Erwachsenenbindung: Ein Mediator zwischen sexuellem Missbrauch in der Kindheit und späterer psychologischer Anpassung. *J. Interpers. Violence* 14, 187–207. doi: 10.1177/088626099014002006
- Rogel, A., Loomis, A. M., Hamlin, E., Hodgdon, H., Spinazzola, J. und van der Kolk, B. A. (2020). Der Einfluss von Neurofeedback-Training auf Kinder mit Entwicklungsstrauma: Eine randomisierte kontrollierte Studie. *Psychol. Trauma* 12, 918–929. doi: 10.1037/tra0000648
- Roley, S. S., Mailloux, Z., Miller-Kuhaneck, H. und Glennon, T. (2007). Ayres Sensory Integration verstehen. *OT Pract.* CE1–CE8.
- Romaiguère, P., Anton, J. L., Roth, M., Casini, L. und Roll, J. P. (2003). Motorische und parietale Kortexareale liegen der Kinästhesie zugrunde. *Cogn. Brain Res.* 16, 74–82. doi: 10.1016/S0926-6410(02)00221-5
- Ros, T., Frewen, P., Théberge, J., Michela, A., Kluetsch, R., Mueller, A., et al. (2017). Neurofeedback stimmt skalierungsfreie Dynamik in spontaner Gehirnaktivität ab. *Cereb. Cortex* 27, 4911–4922. doi: 10.1093/cercor/bhw285
- Rothbaum, B. O. (1997). Eine kontrollierte Studie zur Desensibilisierung und Aufarbeitung durch Augenbewegungen bei der Behandlung von Opfern sexueller Übergriffe mit posttraumatischer Belastungsstörung. *Bull. Menninger Clin.* 61, 317–334.
- Rubelowski, J. M., Menge, M., Distler, C., Rothermel, M. und Hoffmann, K. P. (2013). Verbindungen des Colliculus superior zu den Schultermuskeln der Ratte: Eine duale Tracing-Studie. *Front. Neuroanat.* 7:17. doi: 10.3389/fnana.2013.00017
- Rufer, M., Held, D., Cremer, J., Fricke, S., Moritz, S., Peter, H., et al. (2006). Dissoziation als Prädiktor für den Erfolg einer kognitiven Verhaltenstherapie bei Patienten mit Zwangsstörungen. *Psychother. Psychosom.* 75, 40–46. doi: 10.1159/000089225
- Sack, M., Cillien, M. und Hopper, J. W. (2012). Akute Dissoziation und kardiale Reaktivität auf skriptgesteuerte Bilder bei traumabedingten Störungen. *Eur. J. Psychotraumatol.* 3, 1–10. doi: 10.3402/ejpt.v3i0.17419
- Sack, M., Hofmann, A., Wizelman, L. und Lempa, W. (2008). Psychophysiologische Veränderungen während EMDR und Behandlungsergebnis. *J. EMDR Pract. Res.* 2, 239–246. doi: 10.1891/1933-3196.2.4.239
- Saj, A., Pierce, J. E., Ronchi, R., Ros, T., Thomasson, M., Bernati, T., et al. (2021). Echtzeit-fMRT und EEG-Neurofeedback: Eine Perspektive für Anwendungen in der Rehabilitation von räumlicher Neglect. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 64:101561. doi: 10.1016/j.rehab.2021.101561
- Sandberg, D. A. (2010). Adult attachment as a predictor of posttraumatic stress and dissociation. *J. Trauma Dissociation* 11, 293–307. doi: 10.1080/15299731003780937
- Sandberg, D. A., Suess, E. A. und Heaton, J. L. (2010). Bindungsangst als Mediator der Beziehung zwischen zwischenmenschlichem Trauma und posttraumatischer

- Symptomatik bei Studentinnen. *J. Interpers. Violence* 25, 33–49. doi: 10.1177/0886260508329126
- Sandler, A. und Coren, A. (1981). Vestibuläre Stimulation in der frühen Kindheit: Eine Übersicht. *J. Early Interv.* 3, 48–55. doi: 10.1177/105381518100300108
- Sar, V., und Öztürk, E. (2008). Was ist Trauma und Dissoziation? *J. Trauma Pract.* 4, 7–20. doi: 10.1300/J189v04n01_02
- Sar, V., Islam, S., und Öztürk, E. (2009). Emotionale Misshandlung in der Kindheit und Dissoziation bei Patienten mit Konversionssymptomen. *Psychiatry Clin. Neurosci.* 63, 670–677. doi: 10.1111/j.1440-1819.2009.02012.x
- Sasaki, R., Yamada, Y., Tsukahara, Y., und Kuniyoshi, Y. (2013). „Taktile Reize aus dem Fruchtwasser leiten die Entwicklung des somatosensorischen Kortex mit hierarchischer Struktur unter Verwendung einer menschlichen Fötussimulation“, in 2013 IEEE 3rd Joint International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL), (Osaka). doi: 10.1109/DevLrn.2013.6652530
- Schäfflein, E., Sattel, H., Schmidt, U. und Sack, M. (2018). Der Feind im Spiegel: Selbstwahrnehmungsbedingter Stress führt bei Patienten mit dissoziativen Störungen zu einer Dissoziation psychologischer und physiologischer Reaktionen. *Eur. J. Psychotraumatol.* 9, 1472991. doi: 10.1080/2008198.2018.1472991
- Schauer, M., und Elbert, T. (2010). Dissoziation nach traumatischem Stress: Ätiologie und Behandlung. *J. Psychol.* 218, 109–127. doi: 10.1027/0044-3409/a000018
- Schirmer, A., Jesuthasan, S., und Mathuru, A. S. (2013). Taktile Stimulation reduziert Angst bei Fischen. *Front. Behav. Neurosci.* 7:167. doi: 10.3389/fnbeh.2013.00167
- Schlumpf, Y. R., Reinders, A. A. T. S., Nijenhuis, E. R. S., Luechinger, R., van Osch, M. J. P. und Jäncke, L. (2014). Dissoziative teilabhängige Ruhezustandsaktivität bei dissoziativer Identitätsstörung: Eine kontrollierte fMRT-Perfusionsstudie. *PLoS One* 9:e98795. doi: 10.1371/journal.pone.0098795
- Schmahl, C., Lanius, R. A., Pain, C. und Vermetten, E. (2010). „Biologischer Rahmen für traumatische Dissoziation im Zusammenhang mit frühkindlichen Traumata“, in *The impact of early life trauma on health and disease: The hidden epidemic*, Hrsg. R. A. Lanius, E. Vermetten und C. Pain (Cambridge: Cambridge University Press), 178–188. doi: 10.1017/CBO9780511777042.021
- Schmied, C., Boivin, X., Scala, S., und Waiblinger, S. (2010). Wirkung vorheriger Streicheleinheiten auf die Reaktionen auf einen tierärztlichen Eingriff: Verhalten und Herzfrequenz von Milchkühen. *Interact. Stud.* 11, 467–481. doi: 10.1075/is.11.3.08sch
- Schore, A. N. (2003). Auswirkungen einer sicheren Bindungsbeziehung auf die Entwicklung der rechten Gehirnhälfte, die Affektregulation und die psychische Gesundheit von Säuglingen. *Infant Ment. Health J.* 22, 7–66. doi: 10.1002/1097-0355(200101/04)22:1<7::AID-IMHJ2>3.0.CO;2-N
- Schouten, K. A., de Niet, G. J., Knipscheer, J. W., Kleber, R. J. und Hutschemaekers, G. J. M. (2015). Die Wirksamkeit der Kunsttherapie bei der Behandlung traumatisierter Erwachsener: Eine systematische Übersicht über Kunsttherapie und Trauma. *Trauma Violence Abuse* 16, 220–228. doi: 10.1177/1524838014555032
- Schwabe, L., und Blanke, O. (2008). Die vestibuläre Komponente bei außerkörperlichen Erfahrungen: Ein rechnergestützter Ansatz. *Front. Hum. Neurosci.* 2:17. doi: 10.3389/neuro.09.017.2008
- Scott, S., und Babcock, J. C. (2010). Bindung als Moderator zwischen Gewalt in Paarbeziehungen und PTBS-Symptomen. *J. Fam. Violence* 25, 1–9. doi: 10.1007/s10896-009-9264-1
- Scudder, C. A., Moschovakis, A. K., Karabelas, A. B., und Highstein, S. M. (1996). Anatomie und Physiologie von saccadischen Long-Lead-Burst-Neuronen, aufgezeichnet bei wachen Tottenmakis. I. Absteigende Projektionen aus dem Mesencephalon. *J. Neurophysiol.* 76, 332–352. doi: 10.1152/jn.1996.76.1.332
- Seizova-Cajic, T., und Sachtler, W. L. B. (2007). Anpassung einer bimodalen Integrationsstufe: Visuelle Eingabe während der Vibration der Nackenmuskulatur erforderlich, um einen Bewegungsnachwirkungseffekt auszulösen. *Exp. Brain Res.* 181, 117–129. doi: 10.1007/s00221-007-0910-7
- Sengul, G., und Watson, C. (2015). „Ascending and Descending Pathways in the Spinal Cord“ in *The Rat Nervous System*, 4. Auflage, herausgegeben von G. Paxinos (Amsterdam: Elsevier), 115–130. doi: 10.1016/B978-0-12-374245-2.00008-5
- Serino, A., und Haggard, P. (2010). Touch and the body. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 34, 224–236. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.04.004
- Shalev, A. Y., Peri, T., Brandes, D., Freedman, S., Orr, S. P. und Pitman, R. K. (2000). Auditory startle response in trauma survivors with posttraumatic stress disorder: A prospective study. *Am. J. Psychiatry* 157, 255–261. doi: 10.1176/appi.ajp.157.2.255
- Shapiro, D. L. und Levensky, A. A. (1999). Jugendliche Überlebende sexuellen Missbrauchs in der Kindheit: Die vermittelnde Rolle von Bindungsstil und Bewältigungsstrategien für die psychische und zwischenmenschliche Funktionsfähigkeit. *Child Abuse Neglect* 23, 1175–1191. doi: 10.1016/S0145-2134(99)00085-X
- Shapiro, F. (1995). *Eye Movement Desensitization and Reprocessing: Grundprinzipien, Protokolle und Verfahren*. New York, NY: Guilford Press.
- Shayman, C. S., Seo, J. H., Oh, Y., Lewis, R. F., Peterka, R. J. und Hullar, T. E. (2018). Zusammenhang zwischen vestibulärer Sensibilität und multisensorischer temporaler Integration. *J. Neurophysiol.* 120, 1572–1577. doi: 10.1152/jn.00379.2018
- Shewmon, D. A., Holmes, G. L. und Byrne, P. A. (1999). Bewusstsein bei Kindern mit angeborener Dekortikation: Der vegetative Entwicklungszustand als sich selbst erfüllende Prophezeiung. *Dev. Med. Child Neurol.* 41, 364–374. doi: 10.1017/S0012162299000821
- Shinoda, Y., Sugiuchi, Y., Izawa, Y. und Hata, Y. (2006). Lange absteigende motorische Bahnen und ihre Steuerung der Hals- und axialen Muskulatur. *Prog. Brain Res.* 151, 527–563. doi: 10.1016/S0079-6123(05)51017-3
- Siebotham, P. (1988). Gleichgewicht im Laufe des menschlichen Lebens. *J. Laryngol. Otol.* 102, 203–208. doi: 10.1017/S0022215100104530
- Siegel, D. J. (2001). Auf dem Weg zu einer interpersonellen Neurobiologie des sich entwickelnden Geistes: Bindungsbeziehungen, „Mindsight“ und neuronale Integration. *Infant Ment. Health J.* 22, 67–94. doi: 10.1002/1097-0355(200101/04)22:1<67::AID-IMHJ3>3.0.CO;2-G
- Signal, T., Taylor, N., Botros, H., Prentice, K. und Lazarus, K. (2013). Flüstern mit Pferden: Sexueller Missbrauch in der Kindheit, Depressionen und die Wirksamkeit der pferdegestützten Therapie. *Sex. Abuse Aust. N. Z.* 5, 24–32.
- Soares, M. C., Oliveira, R. F., Ros, A. F. H., Grutter, A. S. und Bshary, R. (2011). Taktile Stimulation senkt Stress bei Fischen. *Nat. Commun.* 2, 1–5. doi: 10.1038/ncomms1547
- Solomon, Z., Ginzburg, K., Mikulincer, M., Neria, Y., und Ohry, A. (1998). Bewältigung von Kriegsgefangenschaft: Die Rolle des Bindungsstils. *Eur. J. Pers.* 12, 271–285. doi: 10.1002/(SICI)1099-0984(199807/08)12:4<271::AID-PER309>3.0.CO;2-U
- Söndergaard, H. P., und Eloffsson, U. (2008). Psychophysiologische Studien zu EMDR. *J. EMDR Pract. Res.* 2, 282–288. doi: 10.1891/1933-3196.2.4.282
- Spiegel, D., Loewenstein, R. J., Lewis-Fernández, R., Sar, V., Simeon, D., Vermetten, E., et al. (2011). Dissoziative Störungen in DSM-5. *Depress. Anxiety* 28, 824–852. doi: 10.1002/da.20874
- Spitzer, C., Barnow, S., Freyberger, H. J. und Grabe, H. J. (2007). Dissoziation sagt symptombezogene Behandlungsergebnisse in der kurzfristigen stationären Psychotherapie voraus. *Aust. N. Z. J. Psychiatry* 41, 682–687. doi: 10.1080/00048670701449146
- Spreng, R. N. und Grady, C. L. (2010). Muster der Gehirnaktivität, die autobiografisches Gedächtnis, Prospektion und Theory of Mind unterstützen, und ihre Beziehung zum Default Mode Network. *J. Cogn. Neurosci.* 22, 1112–1123. doi: 10.1162/jocn.2009.21282
- Sridharan, D., Levitin, D. J. und Menon, V. (2008). Eine entscheidende Rolle des rechten frontalen Inselkortex beim Wechsel zwischen zentralem Exekutiv- und Standardmodus-Netzwerk. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 12569–12574. doi: 10.1073/pnas.0800005105
- Sripada, R. K., King, A. P., Welsh, R. C., Garfinkel, S. N., Wang, X., Sripada, C. S., et al. (2012). Neuronale Dysregulation bei posttraumatischer Belastungsstörung: Hinweise auf ein gestörtes Gleichgewicht zwischen Salienz- und Default-Mode-Netzwerken im Gehirn. *Psychosom. Med.* 74, 904–911. doi: 10.1097/PSY.0b013e318273bf33
- Stein, D. J., Koenen, K. C., Friedman, M. J., Hill, E., McLaughlin, K. A., Petukhova, M., et al. (2013). Dissoziation bei posttraumatischer Belastungsstörung: Belege aus den Weltgesundheitsumfragen. *Biol. Psychiatry* 73, 302–312. doi: 10.1016/j.biopsych.2012.08.022
- Steuwe, C., Daniels, J. K., Frewen, P. A., Densmore, M., Pannasch, S., Beblo, T., et al. (2014). Auswirkungen von direktem Augenkontakt bei PTBS im Zusammenhang mit zwischenmenschlichen Traumata: Eine fMRT-Studie zur Aktivierung eines angeborenen Alarmsystems. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 9, 88–97. doi: 10.1093/scan/nss105
- Steuwe, C., Lanius, R. A., und Frewen, P. A. (2012). Nachweis einer dissoziativen Subform der PTBS durch latente Profil- und konfirmatorische Faktorenanalysen in einer zivilen Stichprobe. *Depress. Anxiety* 29, 689–700. doi: 10.1002/da.21944
- Stevenson, R. A., Segers, M., Ncube, B. L., Black, K. R., Beblo, J. M., Ferber, S., et al. (2018). Der kaskadierende Einfluss multisensorischer Verarbeitung auf die Sprachwahrnehmung bei Autismus. *Autism* 22, 609–624. doi: 10.1177/1362363117704413
- Strauss, T., Rottstädt, F., Sailer, U., Schellong, J., Hamilton, J. P., Raue, C., et al. (2019). Berührungsaversion bei Patienten mit zwischenmenschlicher Traumatisierung. *Depress. Anxiety* 36, 635–646. doi: 10.1002/da.22914
- Suarez, S. D., und Gallup, G. G. (1979). Tönische Immobilität als Reaktion auf Vergewaltigung beim Menschen: Eine theoretische Anmerkung. *Psychol. Rec.* 29, 315–320. doi: 10.1007/bf03394619
- Synofzik, M., Vosgerau, G., und Newen, A. (2008). Ich bewege mich, also bin ich: Ein neuer theoretischer Rahmen zur Untersuchung von Handlungsfähigkeit und Eigentum. *Conscious. Cogn.* 17, 411–424. doi: 10.1016/j.concog.2008.03.008
- Takakusaki, K. (2017). Funktionelle Neuroanatomie für Haltung und Gangsteuerung. *J. Mov. Disord.* 10, 1–17. doi: 10.14802/jmd.16062
- Taylor, J. L. (2009). „Propriozeption“, in *Encyclopedia of neuroscience*, Band 7, hrsg. von L. R. Squire (Oxford: Academic Press), 1143–1149.

- Terapou, B. A., Densmore, M., Théberge, J., Frewen, P., McKinnon, M. C. und Lanius, R. A. (2018). Entkopplung des Pulvinar und des hinteren Parietallappens im Ruhezustand bei PTBS und ihrem dissoziativen Subtyp. *Hum. Brain Mapp.* 39, 4228–4240. doi: 10.1002/hbm.24242
- Terpou, B. A., Densmore, M., Théberge, J., Frewen, P., McKinnon, M. C., Nicholson, A. A. et al. (2020). Das gekaperte Selbst: Gestörte funktionelle Konnektivität zwischen dem periaquäduktalen Grau und dem Default Mode Network bei posttraumatischer Belastungsstörung unter Verwendung dynamischer Kausalmodellierung. *Neuroimage* 27:102345. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.102345
- Terpou, B. A., Densmore, M., Théberge, J., Thome, J., Frewen, P., McKinnon, M. C., et al. (2019a). Das bedrohliche Selbst: Funktionelle Konnektivität des Mittelhirns mit kortikalen Mittellinien- und Parietalregionen während der subliminalen traumabedingten Verarbeitung bei PTBS. *Chronic Stress* 3, 1–12. doi: 10.1177/2470547019871369
- Terpou, B. A., Harricharan, S., McKinnon, M. C., Frewen, P., Jetly, R. und Lanius, R. A. (2019b). Die Auswirkungen von Traumata auf Gehirn und Körper: Eine vereinheitlichende Rolle für die periaquäduktale Grauzone des Mittelhirns. *J. Neurosci. Res.* 97, 1110–1140. doi: 10.1002/jnr.24447
- Terr, L. (1990). *Zu verängstigt, um zu weinen: Psychische Traumata in der Kindheit*. New York, NY: Harper & Row Publishers.
- Thome, J., Densmore, M., Koppe, G., Terpou, B., Théberge, J., McKinnon, M. C., et al. (2019). Zurück zu den Grundlagen: Funktionelle Konnektivität des retikulären Aktivierungssystems im Ruhezustand bei PTBS und ihrem dissoziativen Subtyp. *Chronic Stress* 3, 1–14. doi: 10.1177/2470547019873663
- Thome, J., Frewen, P., Daniels, J. K., Densmore, M., und Lanius, R. A. (2014). Veränderte Konnektivität innerhalb des Salienz-Netzwerks bei direktem Blickkontakt bei PTBS. *Borderline Personal. Disord. Emot. Dysregul.* 1, 1–10. doi: 10.1186/2051-6673-1-17
- Thye, M. D., Bednarz, H. M., Herringshaw, A. J., Sartin, E. B. und Kana, R. K. (2018). Der Einfluss atypischer sensorischer Verarbeitung auf soziale Beeinträchtigungen bei Autismus-Spektrum-Störungen. *Dev. Cogn. Neurosci.* 29, 151–167. doi: 10.1016/j.dcn.2017.04.010
- Tovote, P., Esposito, M. S., Botta, P., Chaudun, F., Fadok, J. P., Markovic, M. et al. (2016). Midbrain circuits for defensive behaviour. *Nature* 534, 206–212. doi: 10.1038/nature17996
- Tsakiris, M. (2010). Mein Körper im Gehirn: Ein neurokognitives Modell der Körperwahrnehmung. *Neuropsychologia* 48, 703–712. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.034
- Tsakiris, M. (2017). Die multisensorische Grundlage des Selbst: Vom Körper zur Identität zu anderen. *Q. J. Exp. Psychol.* 70, 597–609. doi: 10.1080/17470218.2016.1181768
- Tuthill, J. C. und Azim, E. (2018). Propriozeption. *Curr. Biol.* 28, R194–R203. doi: 10.1016/j.cub.2018.01.064
- Tuulari, J. J., Scheinin, N. M., Lehtola, S., Merisaari, H., Saunavaara, J., Parkkola, R., et al. (2019). Neuronale Korrelate sanfter Hautberührungen im frühen Säuglingsalter. *Dev. Cogn. Neurosci.* 35, 36–41. doi: 10.1016/j.dcn.2017.10.004
- Twaite, J. A., und Rodriguez-Srednicki, O. (2004). Sexueller und körperlicher Missbrauch in der Kindheit und Anfälligkeit für PTBS im Erwachsenenalter: Die vermittelnden Effekte von Bindung und Dissoziation. *J. Child Sex. Abuse* 13, 17–38. doi: 10.1300/J070v13n01_02
- van der Hart, O., Nijenhuis, R. S. E. und Steele, K. (2005). Dissoziation: Ein unzureichend anerkanntes Hauptmerkmal der komplexen PTBS. *J. Trauma. Stress* 18, 413–423. doi: 10.1002/jts.20049
- van der Kolk, B. A. (1987). *Psychologisches Trauma*. Washington, DC: American Psychiatric Association.
- van der Kolk, B. A. (1989). Der Zwang, das Trauma zu wiederholen. Re-enactment, Reviktimisierung und Masochismus. *Psychiatr. Clin. North Am.* 12, 389–411. doi: 10.1016/s0193-953x(18)30439-8
- van der Kolk, B. A. (2003). Die Neurobiologie von Kindheitstrauma und Missbrauch. *Child Adolesc. Psychiatr. Clin. North Am.* 12, 293–317. doi: 10.1016/S1056-4993(03)00003-8
- van der Kolk, B. A. (2005). Entwicklungsbedingte Traumastörung. *Psychiatric Ann.* 35, 401–408.
- van der Kolk, B. A. (2015). *Der Körper erinnert sich: Gehirn, Geist und Körper bei der Heilung von Traumata*. New York, NY: Viking.
- van der Kolk, B. A., und Fisler, R. (1995). Dissoziation und die fragmentarische Natur traumatischer Erinnerungen: Überblick und explorative Studie. *J. Trauma. Stress* 8, 505–525. doi: 10.1007/BF02102887
- van der Kolk, B. A., Hodgdon, H., Gapen, M., Musicaro, R., Suvak, M. K., Hamlin, E., et al. (2016). Eine randomisierte kontrollierte Studie zu Neurofeedback bei chronischer PTBS. *PLoS One* 11:e0166752. doi: 10.1371/journal.pone.0166752
- van der Kolk, B. A., Spinazzola, J., Blaustein, M. E., Hopper, J. W., Hopper, E. K., Korn, D. L. et al. (2007). Eine randomisierte klinische Studie zu Eye Movement Desensibilisierung und Aufarbeitung (EMDR), Fluoxetin und Placebo-Tabletten bei der Behandlung von posttraumatischer Belastungsstörung: Behandlungseffekte und langfristige Aufrechterhaltung. *J. Clin. Psychiatry* 68, 37–46. doi: 10.4088/JCP.v68n0105
- van der Kolk, B. A., Stone, L., West, J., Rhodes, A., Emerson, D., Suvak, M., et al. (2014). Yoga als ergänzende Behandlung bei posttraumatischer Belastungsstörung: Eine randomisierte kontrollierte Studie. *J. Clin. Psychiatry* 75, e559–e565. doi: 10.4088/JCP.13m08561
- van Puyvelde, M., Gorissen, A. S., Pattyn, N., und McGlone, F. (2019). Ist Berührung wichtig? Der Einfluss von streichelnder gegenüber nicht streichelnder mütterlicher Berührung auf kardiorespiratorische Prozesse bei Müttern und Säuglingen. *Physiol. Behav.* 207, 55–63. doi: 10.1016/j.physbeh.2019.04.024
- Vancappel, A., Suzan, L., Bailly, S., Fraigneau, M., Réveillère, C. und El-Hage, W. (2022). Untersuchung von Strategien zum Umgang mit Dissoziation und ihren Determinanten durch Funktionsanalyse bei Patienten mit PTBS: Eine qualitative Studie. *Eur. J. Trauma Dissociation* 6:100235. doi: 10.1016/j.ejtd.2021.100235
- Volchan, E., Souza, G. G., Franklin, C. M., Norte, C. E., Rocha-Rego, V., Oliveira, J. M. et al. (2011). Gibt es tonische Immobilität beim Menschen? Biologische Belege von Opfern traumatischer Belastungen. *Biol. Psychol.* 88, 13–19. doi: 10.1016/j.biopsycho.2011.06.002
- von Hofsten, C. (2007). Handlung in der Entwicklung. *Dev. Sci.* 10, 54–60. doi: 10.1111/j.1467-7687.2007.00564.x
- von Mohr, M., Kirsch, L. P. und Fotopoulou, A. (2017). Die beruhigende Funktion von Berührungen: Affektive Berührungen reduzieren das Gefühl sozialer Ausgrenzung. *Sci. Rep.* 7, 1–9. doi: 10.1038/s41598-017-13355-7
- von Mohr, M., Krahe, C., Beck, B. und Fotopoulou, A. (2018). Die soziale Abfederung von Schmerz durch affektive Berührung: Eine Laser-Evozierte-Potential-Studie bei Liebespaaren. *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.* 13, 1121–1130. doi: 10.1093/scan/nsy085
- Vrugt, D. T. und Pederson, D. R. (1973). Die Auswirkungen vertikaler Schaukelbewegungen auf den Erregungsgrad bei zwei Monate alten Säuglingen. *Child Dev.* 44, 205–209. doi: 10.1111/j.1467-8624.1973.tb02139.x
- Vulliemoz, S., Raineteau, O., und Jabaudon, D. (2005). Über die Mittellinie hinaus: Warum ist das menschliche Gehirn kreuzverdrahtet? *Lancet Neurol.* 4, 87–99. doi: 10.1016/S1474-4422(05)00990-7
- Walker, S. C., Cavieres, A., Peñaloza-Sancho, V., El-Deredey, W., McGlone, F. P. und Dagnino-Subiabre, A. (2020). C-low threshold mechanosensitive targeted dynamic touch modulates stress resilience in rats exposed to chronic mild stress. *Eur. J. Neurosci.* 5, 2925–2938. doi: 10.1111/ejn.14951
- Wallace, M. T., Woynarowski, T. G. und Stevenson, R. A. (2020). Multisensorische Integration als Fenster zu geordneter und gestörter Kognition und Kommunikation. *Annu. Rev. Psychol.* 71, 193–219. doi: 10.1146/annurev-psych-010419-051112
- Wang, C., Liu, H., Li, K., Wu, Z. Z., Wu, C., Yu, J. Y. et al. (2020). Die taktile Modulation von Gedächtnis und Angst erfordert dentate Granulatzellen entlang der dorsoventralen Achse. *Nat. Commun.* 11, 1–18. doi: 10.1038/s41467-020-19874-8
- Warner, E., Koomar, J., Lary, B., und Cook, A. (2013). Kann der Körper die Punktzahl ändern? Anwendung sensorischer Modulationsprinzipien bei der Behandlung traumatisierter Jugendlicher in stationären Einrichtungen. *J. Fam. Violence* 28, 729–738. doi: 10.1007/s10896-013-9535-8
- Warner, E., Spinazzola, J., Westcott, A., Gunn, C. und Hodgdon, H. (2014). Der Körper kann das Ergebnis beeinflussen: Empirische Belege für somatische Regulierung bei der Behandlung traumatisierter Jugendlicher. *J. Child Adolesc. Trauma* 7, 237–246. doi: 10.1007/s40653-014-0030-z
- Webster, D. G., Lanthorn, T. H., Dewsbury, D. A. und Meyer, M. E. (1981). Tonische Immobilität und die dorsale Immobilitätsreaktion bei zwölf Arten von Nagetieren. *Behav. Neural Biol.* 31, 32–41. doi: 10.1016/S0163-1047(81)91034-7
- White, W. F., Burgess, A., Dalgleish, T., Halligan, S., Hiller, R., Oxley, A. et al. (2022). Prävalenz des dissoziativen Subtyps der posttraumatischen Belastungsstörung: Eine systematische Übersicht und Metaanalyse. *Psychological Medicine* 52, 1629–1644. doi: 10.1017/S0033291722001647
- Wiens, S. (2005). Interozeption in emotionalen Erfahrungen. *Curr. Opin. Neurol.* 18, 442–447. doi: 10.1097/01.wco.0000168079.92106.99
- Wijdsicks, E. F. (2019). Das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem. *Neurocrit. Care* 31, 419–422. doi: 10.1007/s12028-019-00687-7
- Wijesinghe, R., Protti, D. A. und Camp, A. J. (2015). Vestibuläre Interaktionen im Thalamus. *Front. Neural Circuits* 9:79. doi: 10.3389/fncir.2015.00079
- Williams, C. L., Haines, J. und Sale, I. M. (2003). Psychophysiologische und psychologische Korrelate der Dissoziation in einem Fall von dissoziativer Identitätsstörung. *J. Trauma Dissociation* 4, 101–118. doi: 10.1300/J229v04n01_07
- Williams, L. M., Palmer, D., Liddell, B. J., Song, L. und Gordon, E. (2006). Das „Wann“ und „Wo“ der Wahrnehmung von Signalen, die eine Bedrohung darstellen, im Gegensatz zu Signalen, die keine Bedrohung darstellen. *NeuroImage* 31, 458–467. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.12.009

- Wilson, S. A., Becker, L. A. und Tinker, R. H. (1997). Fünfzehnmonatige Nachuntersuchung einer EMDR-Behandlung (Eye Movement Desensitization and Reprocessing) bei posttraumatischer Belastungsstörung und psychischem Trauma. *J. Consult. Clin. Psychol.* 65, 1047–1056. doi: 10.1037/0022-006X.65.6.1047
- Wolf, E. J., Lunney, C. A., Miller, M. W., Resick, P. A., Friedman, M. J. und Schnurr, P. P. (2012a). Der dissoziative Subtyp der PTBS: Eine Replikation und Erweiterung. *Depress. Anxiety* 29, 679–688. doi: 10.1002/da.21946
- Wolf, E. J., Miller, M. W., Reardon, A. F., Ryabchenko, K. A., Castillo, D. und Freund, R. (2012b). Eine latente Klassenanalyse von Dissoziation und posttraumatischer Belastungsstörung: Hinweise auf einen dissoziativen Subtyp. *Arch. Gen. Psychiatry* 69, 698–705. doi: 10.1001/archgenpsychiatry.2011.1574
- Woodhouse, S., Ayers, S. und Field, A. P. (2015). Der Zusammenhang zwischen dem Bindungsstil von Erwachsenen und posttraumatischen Stresssymptomen: Eine Metaanalyse. *J. Anxiety Disord.* 35, 103–117. doi: 10.1016/j.janxdis.2015.07.002
- Yang, Z., Oathes, D., Linn, K. A., Bruce, S. E., Satterthwaite, T. D., Cook, P. A., et al. (2018). Kognitive Verhaltenstherapie ist mit einer verstärkten Aktivität des kognitiven Kontrollnetzwerks bei schwerer Depression und posttraumatischer Belastungsstörung verbunden. *Biol. Psychiatry* 3, 311–319. doi: 10.1016/j.bpsc.2017.12.006
- Yates, B. J. und Miller, A. D. (1998). Physiologischer Nachweis, dass das vestibuläre System an der autonomen und respiratorischen Kontrolle beteiligt ist. *J. Vestib. Res.* 8, 17–25. doi: 10.3233/ves-1998-8103
- Yehuda, R., McFarlane, A. C. und Shalev, A. Y. (1998). Vorhersage der Entwicklung einer posttraumatischen Belastungsstörung anhand der akuten Reaktion auf ein traumatisches Ereignis. *Biol. Psychiatry* 44, 1305–1313. doi: 10.1016/S0006-3223(98)00276-5
- Yochman, A., und Pat-Horenczyk, R. (2020). Sensorische Modulation bei Kindern, die kontinuierlichem traumatischem Stress ausgesetzt sind. *J. Child Adolesc. Trauma* 13, 93–102. doi: 10.1007/s40653-019-00254-4
- Yoo, H., und Mihaila, D. M. (2020). *Neuroanatomie, vestibuläre Bahnen*. Florida: StatPearls Publishing.
- Yorke, J., Nugent, W., Strand, E., Bolen, R., New, J., und Davis, C. (2013). Pferdegestützte Therapie und ihre Auswirkungen auf den Cortisolspiegel von Kindern und Pferden: Eine Pilotstudie und Metaanalyse. *Early Child Dev. Care* 183, 874–894. doi: 10.1080/03004430.2012.693486
- Yu, H., Miao, W., Ji, E., Huang, S., Jin, S., Zhu, X. et al. (2022). Soziale berührungähnliche taktile Stimulation aktiviert einen Tachykinin-1-Oxytocin-Signalweg, um soziale Interaktionen zu fördern. *Neuron* 110, 1051–1067. doi: 10.1016/j.neuron.2021.12.022
- Yules, R. B., Krebs, C. Q. und Gault, F. P. (1966). Reticular formation control of vestibular system. *Exp. Neurol.* 16, 349–358. doi: 10.1016/0014-4886(66)90103-8
- Zakin, G., Solomon, Z. und Neria, Y. (2003). Widerstandsfähigkeit, Bindungsstil und langfristige psychische Belastung bei israelischen Kriegsgefangenen und Kriegsveteranen. *Personal. Individ. Differ.* 34, 819–829. doi: 10.1016/S0191-8869(02)00073-9
- Zoet, H. A., Wagenmans, A., van Minnen, A. und de Jongh, A. (2018). Das Vorliegen des dissoziativen Subtyps der PTBS hat keinen Einfluss auf das Ergebnis einer intensiven traumafokussierten Behandlung der PTBS. *Eur. J. Psychotraumatol.* 9:1468707. doi: 10.1080/2008198.2018.1468707
- zu Eulenburg, P., Caspers, S., Roski, C. und Eickhoff, S. B. (2012). Meta-analytische Definition und funktionelle Konnektivität des menschlichen vestibulären Kortex. *NeuroImage* 60, 162–169. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.12.032