

Anna Buchheim, Svenja Taubner, Ella Fizke, Tobias Nolte

Bindung und Neurobiologie: Ergebnisse bildgebender Verfahren

Attachment and Neurobiology: Neuroimaging results

Zusammenfassung

Diese Übersicht referiert den aktuellsten Stand von Bindung und Neurobiologie mit Hilfe der funktionellen Kernspintomographie (fMRT). Wie in der Zusammenschau deutlich werden wird, werden von den Forschern unterschiedliche Systeme untersucht, sehr häufig mit Hilfe der Präsentation von individuellen Fotos einer geliebten Person im Gegensatz zu unbekanntem Gesichtern oder nicht so nahen, aber bekannten Personen bis hin zu komplexeren Paradigmen (Denken über bindungsrelevante Situationen, Priming-Experimente, Sprechen über bindungsrelevante Situationen). Die bisherige Datenlage lässt es noch nicht zu, ein spezifisches neuronales Netzwerk von Bindung beschreiben zu können. Zu verschieden sind dazu die in den Studien verwendeten Paradigmen, als dass sie direkte Vergleiche der Ergebnisse ermöglichen. Es zeichnen sich allerdings erste Befunde ab, nach denen wiederholt Regionen wie die Amygdala und orbito-/präfrontale kortikale Strukturen involviert sind, wenn bindungsrelevante Stimuli prozessiert werden. Weiterhin zeichnet sich ab, dass beispielsweise bei Untersuchung von Aspekten des „caregiving“ andere Hirnstrukturen (Dopamin-assoziierte Areale im Belohnungssystem) aktiv sind als jene, die als neuronale Korrelate des „attachment system“ postuliert werden. Hier wäre es notwendig, die verschiedenen Konstrukte an derselben Person zu testen. Es erscheint weiterhin fruchtbar, indirekt den Einfluss von Bindung auf Stress- und Emotionsregulation zu messen. Dies sollte auch experimentelle Manipulationen beinhalten, die situative kontextbezogene Faktoren integrieren, wenn Bindung in Bezug zu anderen Konstrukten gesetzt wird.

Schlüsselwörter

Bindung – Bindungssystem – Mentalisierung – funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Summary

This article reviews the most recent findings on attachment and neurobiology in functional magnetic resonance imaging (fMRI) research. As this synopsis will show, researchers investigated very different *systems*, often by very different means and a variety of paradigms ranging from the presentation of individual photos of loved and unknown faces to more complex approaches (reflecting on attachment-relevant events, priming experiments, talking about attachment-relevant situations). At present, the delineation of *one* neuronal network of attachment is not yet possible. The diversity of applied paradigms does not allow for a comparison of results. However, there is evidence across studies that brain regions such as the amygdala and the orbito-/prefrontal cortex are involved in processing attachment-related stimuli. In addition, there are convergent results suggesting that when care-giving is addressed dopamine-associated regions of the reward system differing from the neural correlates of the postulated “attachment circuitry” are active. Therefore, it seems necessary to test the different constructs on the same person. In addition, it seems promising to measure the indirect influence of attachment on stress and emotion regulation. This should include experimental manipulations that integrate contextual factors when relating attachment to other constructs.

Keywords

attachment – attachment system – mentalization – functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

■ Einleitung

In prospektiven Longitudinalstudien und zahlreichen retrospektiven Erhebungen wurde belegt, dass insbesondere früh einwirkende psychosoziale Stressfaktoren, an erster Stelle das

Fehlen einer wichtigen, zuverlässigen Bezugsperson, Langzeitfolgen für psychische und körperliche Erkrankungen haben. Sie bewirken eine verstärkte Neigung zur Somatisierung und weiteren psychischen Störungen (Egle, Hoffmann & Steffens, 1997). In ihrer Arbeit über „The neurobiology of attachment“

heben Insel und Young hervor: „It is difficult to think of any behavioral process that is more intrinsically important for us than attachment” (Insel & Young, 2001). Dieses Zitat unterstreicht die Bedeutung der Bindungstheorie für unser Verständnis von neurobiologisch untermauerten Entwicklungsprozessen.

Diese Erkenntnisse basieren hauptsächlich auf den Annahmen und Beobachtungen von John Bowlby, dem Begründer der empirisch fundierten Bindungstheorie (Bowlby, 1973; 1980). Die Bindungstheorie bietet eine naturwissenschaftliche, ethologisch geprägte Erklärung an, warum sich mangelnde Fürsorge, Trennungen und Gewalt schädlich auf die seelische Entwicklung auswirken. Die Bindungs- und Resilienzforschung belegt, dass eine sichere Bindung des Kleinkindes an seine Bindungsperson einen Schutzfaktor darstellt, während eine unsichere Bindung sowie Trennungen und Verluste als Vulnerabilitätsfaktoren für die weitere Entwicklung anzusehen sind. Frühkindliche Erfahrungen bilden die Grundlage für die emotionale Entwicklung des Menschen. Emotionale Wärme, Fürsorge und Zuneigung fördern die Entwicklung emotionaler und sozialer Fähigkeiten und Fertigkeiten. Deprivation und traumatische Erlebnisse wie Missbrauchserfahrungen oder Vernachlässigung können dagegen zu schwerwiegenden psychischen Problemen und Verhaltensstörungen führen.

In der Bindungsforschung haben sich verschiedene Strömungen und Traditionen herausgebildet: Empirische und konzeptionelle Forschung findet im Bereich der Entwicklungspsychologie, Persönlichkeits- und Sozialpsychologie, der Klinischen Psychologie und nun auch in den Neurowissenschaften statt. In diesem Zusammenhang werden unterschiedliche Modelle von Bindung betrachtet und anhand unterschiedlicher Methoden untersucht (Reaktion auf Fotostimuli, Fragebögen, interviewbasierte Narrative, Priming-Aufgaben). Dabei werden ebenfalls verschiedene behaviorale (und vermutlich neuronale) Systeme von Bindungsformen aktiviert. Bei der Untersuchung der Bindung an eine Bindungsperson in bindungsrelevanten Situationen (Kummer, Krankheit, Gefahr, Verlust) wird das Bindungssystem (attachment system) aktiviert, komplementär dazu bei der Bindungsperson das Fürsorgesystem (caregiving system). Bei der romantischen Bindung an den Liebespartner wird das sexuelle System (sexual system) aktiviert und bei Freunden das affiliative System (affiliative system).

Wie in der Übersicht deutlich werden wird, untersuchen Forscher im Bereich der Bildgebung mit Hilfe funktioneller Kernspintomographie (fMRT) unterschiedliche Bindungssysteme, vor allem bei Gesunden. Die Studien nutzen dazu Präsentationen von individuellen Fotos einer geliebten Person im Gegensatz zu Gesichtern von Unbekannten oder nicht so nahestehenden, aber bekannten Personen bis hin zu komplexeren Paradigmen (Nachdenken über bindungsrelevante Situationen, Priming-Experimente, Sprechen über bindungsrelevante Situationen).

■ Bildgebende Befunde mit Gesunden – Paradigmen mit Foto-Stimuli

Die im Folgenden aufgeführten Befunde basieren vornehmlich auf Studien, in denen der positive Aspekt von Bindung untersucht wurde, d.h. neuronale Korrelate durch Fürsorge und Affiliation hervorrufender Stimuli. Die erste, viel zitierte Studie in diesem Feld stammt von Bartels & Zeki (2000), die mit romantischer Liebe (sexual system) assoziierte Hirnaktivität im Scanner untersuchten und eine neurobiologische Erklärung für das allzu menschliche Phänomen „Liebe macht blind“ zu liefern versuchten. Den Probanden wurden Fotos ihres geliebten Partners sowie zur Kontrolle die eines nahestehenden Freundes präsentiert, um die spezifische neuronale Reaktion auf das Bild eines geliebten Menschen zu untersuchen.

In einer Folgestudie untersuchten Bartels & Zeki (2004) neuronale Korrelate mütterlicher Liebe (caregiving), indem sie Müttern Bilder ihres eigenen Babys zeigten, und verglichen diese mit ihren Ergebnissen zur romantischen Liebe. Um Effekte des Bekanntheitsgrades des Kindergesichts und freundschaftlicher Gefühle im Gegensatz zu den im Zentrum des Interesses stehenden mütterlichen Gefühlen zu kontrollieren, wurden Bilder eines anderen, den Versuchspersonen bekannten Babys im gleichen Alter, des besten Freundes und eines anderen ihnen bekannten Erwachsenen als Kontrollbedingungen verwendet. Beide Studien zu „mütterlicher“ und „romantischer“ Liebe zusammengefasst, zeigen erstaunlich viele Übereinstimmungen neuronaler Aktivierungsmuster, jedoch auch einige Unterschiede dieser beiden Formen von Bindung auf. In beiden Experimenten wurden bei den Probanden neben orbitofrontalen Regionen auch solche aktiviert, die zum Belohnungssystem gehören (z.B. Striatum, Substantia nigra) und ebenso bekannt dafür sind, eine hohe Dichte von Rezeptoren für „Bindungsneuropeptide“ wie Oxytozin und Vasopressin aufzuweisen. Beide Formen von Bindung (mütterlich und romantisch) zeigten darüber hinaus eine Deaktivierung in der Amygdala und eine Aktivierung in der medialen Insula. Diese beiden Regionen sind mit Emotionen assoziiert, wobei die Amygdala primär mit Furcht in Zusammenhang gebracht wird (selten jedoch auch mit positiven Gefühlen; Zalla et al., 2000). Die Rolle der Insula ist bisher weniger geklärt, sie scheint eher mit negativen Gefühlen wie Ärger und Ekel (Craig, 2009) und der Verarbeitung anderer interozeptiven Wahrnehmungen assoziiert zu sein (Phillips, Drevets, Rauch & Lane, 2003). Da das Erleben von Ekel und Schmerz bei sich selbst und anderen die Insula aktiviert, wird auch diese in Verbindung mit Empathie (Perspektivübernahme) gebracht (Singer et al., 2004; Wicker et al., 2003). Die Studien von Bartels und Zeki brachten Aktivierungen der Insula erstmals in Zusammenhang mit romantischen Liebes- und mütterlichen Fürsorgegefühlen. Deaktivierungen fanden sich in den Studien von Bartels und Zeki außerdem in Regionen, die mit Mentalisierung bzw. „theory of mind“ (ToM) und sozialer Bewertung assoziiert werden (z. B. medialer präfrontaler Cortex, temporoparietaler Übergang, Temporallappenpole). Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Bindungsprozesse in Bezug auf wichtige Personen (Partner, eigenes Baby) das neuronale Belohnungs-

system in Gang setzen sowie eine Deaktivierung von negativen Gefühlen und sozialer Urteilsfähigkeit („Liebe macht blind“) bewirken. Lediglich in der Studie zur mütterlichen Bindung zeigte sich auch eine Aktivierung im zentralen Höhlengrau, das eine hohe Dichte an Vasopressin- und Oxytozinrezeptoren besitzt und auch für Schmerzunterdrückung zuständig ist. Da das zentrale Höhlengrau auch in Experimenten mit Rattenmüttern eine wesentliche Rolle im Fürsorgeverhalten spielt (z. B. Miranda-Paiva, Ribeiro-Barbosa, Canteras & Felicio, 2003), sehen die Autoren diese Region als spezifisch für mütterliches Bindungsverhalten an.

Nitschke et al. (2004) untersuchten die Gehirnaktivierung, während Mütter ihnen unbekannte Fotos ihres eigenen Babys, eines nicht bekannten Babys und eines Erwachsenen im Scanner betrachteten. Es zeigte sich hier ebenfalls eine Aktivierung orbitofrontaler Cortices beim Betrachten des eigenen Babys, die positiv mit der signifikant positiveren Selbsteinschätzung der Stimmung der Probandinnen korrelierte, wenn diese Fotos des eigenen Babys sahen. Die Autoren nehmen an, dass in dieser Hirnregion eine wesentliche Dimension von mütterlicher Liebe und Bindung zum eigenen Kind repräsentiert sein könnte.

In einer ähnlich aufgebauten Studie fanden Leibenluft, Gobbi, Harrison und Haxby (2004) eine stärkere Aktivierung der Amygdala und der Insula sowie Aktivierungen des anterioren paracingulären Cortex und des posterioren superioren temporalen Sulcus, wenn Mütter Fotos ihres eigenen Babys im Vergleich zu einem ihnen bekannten Baby sahen. Die stärkere Aktivierung der Amygdala steht hier im Widerspruch zu den Ergebnissen von Bartels & Zeki und ist nur ein Beispiel für die Komplexität der Ergebnisse und Schwierigkeit der Interpretation bildgebender Studien bei der Untersuchung komplexer Konstrukte wie Bindung oder mütterliche Liebe. Die Autoren diskutieren, dass die Amygdala eine wesentliche Rolle für Aufmerksamkeits-(Vigilanz-)Prozesse bei bedrohlichen emotionalen Reizen spielt und diese Vigilanz auch bei intensiver Bindung erhöht sein könnte. Die Inkonsistenz der Befunde bleibt jedoch bestehen. Die Aktivierungen im anterioren paracingulären Cortex und posterioren superioren temporalen Sulcus sprechen laut Autoren dafür, dass mütterliche Bindung auch mit Mentalisierungsprozessen verknüpft sei, da diese Regionen auch bei „theory of mind“-Aufgaben aktiviert werden (Ferstl & von Cramon, 2002; Fletcher et al., 1995, Gallagher & Frith, 2003; Amodio & Frith, 2006). Bei allen Studien bekamen die Mütter jedoch keine spezifische Aufgabe bei der Betrachtung der Fotos, so dass sich in den Daten zusätzlich Wiedererkennungprozesse abbilden können. Da keine Instruktion vorlag, die eine Reflexion im Sinne von Mentalisieren angestoßen hätte, ist die Interpretation eines Zusammenhanges von Bindung und Mentalisierung wohl nur schwer zu leisten. Spontane Mentalisierungsprozesse wurden allerdings in Studien im sogenannten resting state nachgewiesen, bei denen Probanden weder Stimuli noch Aufgaben präsentiert werden (Gusnard, Akbudak, Shulman & Raichle, 2001).

Strathearn, Li, Fonagy und Montague (2008) erforschten die neuronale Reaktion von Müttern, wenn diese verschiedene Qualitäten von Gesichtsausdrücken ihres 5-10 Monate alten

Babys (fröhlich, traurig, neutral) im Vergleich zu den Gesichtsausdrücken eines unbekanntes Babys sahen (caregiving system). Die Forschergruppe um Fonagy fand bei den Müttern dabei eine Aktivierung in Dopamin-assoziierten Regionen im Bereich des Belohnungssystems (ventral tegmentale Regionen, Substantia nigra, Striatum und frontale Regionen). Diese Hirnareale sind

1. bei emotionalen Prozessen (medial präfrontaler Cortex, anteriorer cingulärer Cortex=ACC und Insula),
2. bei kognitiven (dorsolateraler präfrontaler Cortex=DLPFC) und
3. bei motorischen Prozessen (primäre motorische Region) involviert.

Die Autoren schlussfolgern, dass ein breites Netzwerk aktiviert wird, wenn Mütter mit den Fotos ihrer Babys konfrontiert sind. Kontrollierte man die Valenz des Gesichtsausdrucks, wurden nur durch die Kategorie „fröhliches Gesicht“ Regionen (nigrostriatal) aktiviert, die mit dem Belohnungssystem verbunden sind.

In einer jüngst veröffentlichten Studie derselben Gruppe (Strathearn et al., 2009) wurde das Paradigma um Bindungsklassifikationen der Mütter durch das Adult Attachment Interview (AAI) erweitert. Wenn Mütter mit einer sicheren Bindungsrepräsentation Bilder ihres lächelnden oder weinenden Babys während der fMRT-Messung betrachteten, so ging dies einher mit stärkerer Aktivität von „Belohnungsregionen“ wie dem Striatum, aber auch mit anderen Oxytozin-assoziierten Hirnarealen wie dem Hypothalamus hypophysärer Strukturen. Ergebnisse zu peripher ermittelten Oxytozinwerten während des Kontakts der Mutter mit dem dann 7 Monate alten Kind korrelierten nicht nur positiv mit den Bildgebungsbefunden der erwähnten Hirnregionen, sondern waren auch deutlich höher als bei Müttern mit einer distanzierten Bindungsrepräsentation. Bei Letzteren fand sich zudem eine stärkere Aktivierung der Insula beim Betrachten der Bilder, wenn ihr Kind einen traurigen Ausdruck zeigte. Dies ist interessant im Zusammenhang mit der zuvor erwähnten Partialfunktion der Inselregion insofern, als hier eventuell eine erste neurobiologische Entsprechung zu von Vermeidung gekennzeichneten Mutter-Kind-Interaktion gefunden wurde.

Die erste Studie, die gesunden Personen nicht Fotos ihrer Babys oder Partner, sondern ihrer eigenen Mutter präsentierte (attachment system), führten Ramasubbu et al. (2007) aus der Gruppe von Mayberg durch. Die Stichprobe bestand allerdings nur aus 10 gesunden Frauen, die eine unproblematische, „normale“ Beziehung zu ihrer Mutter hatten. Als Kontrast zu den Fotos ihrer Mutter wurden den Probandinnen Fotos von zwei gematchten fremden Personen und einer nahestehenden Freundin gezeigt. Die Probandinnen sollten während der passiven Betrachtung die emotionale Valenz und Relevanz der Stimuli einschätzen. Der Hauptkontrast „Betrachtung Mutter“ im Vergleich zu allen anderen Bedingungen ergab während der Valenz-Einschätzung Aktivierungen im linken posterioren cingulären Cortex precuneus (PCC-PCu), im rechten ventromedialen präfrontalen anterioren cingulären Cortex (VMPFC-ACC) und während der Relevanzeinschät-

zung im linken DLPFC. In der Region of Interest-Analyse (ROI-Analyse) zeigten sich Aktivierungen im VMPFC-ACC und DLPFC, wenn den Probandinnen die Bilder ihrer Mütter gezeigt wurden, und eine Deaktivierung in diesen Regionen unter Kontrollbedingungen. Unter den drei experimentellen Bedingungen differenzierte nur die VMPFC-ACC zwischen der Präsentation des Fotos der eigenen Mutter und des Fotos eines nahestehenden Freundes. Die Autoren schlussfolgern, dass die Aktivierung von präfrontalen und cingulär kortikalen Regionen in Bezug auf das Gesicht der eigenen Mutter konsistent ist mit anderen Studien, die Aktivierungen in den Regionen in Bezug auf persönliche Vertrautheit und selbstrelevante Prozesse zeigen.

■ Bildgebungsbefunde, basierend auf komplexeren Paradigmen

Die hier erwähnten Studien zeichnen sich zumeist durch eine intendierte Aktivierung des eigentlichen attachment systems, d.h. einer Evozierung bindungsrelevanten Stresserlebens aus. Gillath, Bunge, Shaver, Wendelken und Miculincer (2005) entwickelten in einer Untersuchung zum „romantic, sexual system“ ein komplexeres Paradigma, um neuronale Korrelate während des Erinnerns bindungsrelevanter Situationen mit dem Partner zu erfassen. An der Studie nahmen insgesamt 20 gesunde Frauen teil, bei denen durch Fragebogen ermittelt worden war, ob sie sich selbst als eher vermeidend, eher ängstlich oder eher sicher gebunden einschätzen (Bindungsstil). Sie wurden gebeten, während der Untersuchung im Scanner zunächst über negative, konflikthafte Erlebnisse mit ihrem Partner nachzudenken (Streit, Trennung, Tod) und per Tastendruck zu signalisieren, wenn sie einen neuen Gedanken zu diesen Erlebnissen hatten. Anschließend wurden sie aufgefordert, diesen Gedanken zu stoppen oder über etwas anderes nachzudenken. Bei diesen beiden Bedingungen musste eine Taste betätigt werden, sobald die Probanden damit begannen, wieder über das vorherige Szenario nachzudenken. Unter der Bedingung „Denken an negative Bindungsereignisse“ ergab sich eine positive Korrelation zwischen Bindungsängstlichkeit und Aktivierungen in Regionen, die mit negativen Emotionen assoziiert sind (z. B. anteriorer Temporalpol) und eine inverse Korrelation mit Aktivierungen in Regionen, die mit Emotionsregulierung in Verbindung gebracht werden (orbitofrontaler Cortex). Dieser Befund deutet darauf hin, dass bindungsängstliche Personen auf neuronaler Ebene stärker auf Themen wie Verlust und Streit reagieren.

Lemche et al. (2006) kombinierten in ihrer Bindungsstudie erstmals fMRI mit physiologischen Messungen, um die direkte Reaktion von bindungssicheren wie –unsicheren Personen auf Bindungsstress zu untersuchen. Dazu wurden den gesunden Probanden im Scanner selbstzentrierte oder fremdzentrierte Sätze dargeboten, denen sie zustimmen oder nicht zustimmen sollten. Vor der Präsentation dieser Sätze erfolgte ein subliminales Priming mit Sätzen, die entweder eine neutrale Information oder Beschreibungen unangenehmer Bindungserfahrungen enthielten. Die Reaktionszeit von Zustimmung oder Ablehnung auf die bewusst wahrnehmbaren Sätze wurde in allen Bedingungskombinationen (neutrales oder bindungsre-

levantes Priming, selbstzentrierte oder fremdzentrierte Sätze) gemessen. Die Reaktionszeit stellt nach Angaben der Autoren aufgrund des gefundenen Zusammenhangs mit Bindungsunsicherheit im AAI eine valide Messung für das Ausmaß an Bindungsunsicherheit dar. Zusätzlich wurde während der fMRI-Datenerhebung die Hautleitfähigkeit erfasst. Entsprechend ihren Erwartungen auf der Basis früherer Befunde fanden die Autoren eine bilaterale Aktivierung der Amygdala während der Stress-Priming-Bedingung. Die Aktivierung in der Amygdala sowie des linken ventralen Striatums während der Stress-Priming-Bedingung korrelierte positiv mit Bindungsunsicherheit (erhöhte Reaktionszeit). Die Aktivierung der Amygdala korrelierte des Weiteren positiv mit der autonomen Stressreaktanz (Hautleitfähigkeit). In beiden Priming-Bedingungen hing die Aktivierung in verschiedenen weiteren Hirnregionen positiv mit Bindungsunsicherheit zusammen. Die Amygdala war die einzige Region, in der sich nur in der Stress-Priming-Bedingung sowohl dieser Zusammenhang als auch der zur autonomen Reaktion zeigte. Dieser Befund unterstreicht nochmals die besondere vermittelnde Rolle der Amygdala für die autonomen Reaktionen von bindungsunsicheren Personen auf Stress.

In einer weiteren Studie wurde die Wechselwirkung von unspezifischem Stress und Bindung genauer in Bezug auf das sexuelle System untersucht. Coan, Schaefer und Davidson (2006) rekrutierten 17 Ehepaare, die keine aktuelle oder vergangene psychopathogene Erkrankung aufwiesen und nach Selbstauskunft eine hohe eheliche Qualität und Zufriedenheit beschrieben (Dyadic Adjustment Scale). Nur die Ehefrauen wurden im Kernspintomographen untersucht. Das Experiment bestand aus verschiedenen visuellen Stimuli, z. B. Kreise oder Kreuze, die unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten eines bevorstehenden leichten Elektroschocks ankündigten. Drei verschiedene Konditionen wurden verglichen: In der einen Kondition hielten die Ehemänner die Hand ihrer Ehefrauen, in einer weiteren wurde die Hand der Teilnehmerin von einem fremden Mann gehalten, in der dritten Kondition waren die Frauen allein. Die Autoren erwarteten die Aktivierung eines neuronalen Netzwerks, das mit Angst und Schmerzerwartung assoziiert wird. Der Haupteffekt des Handhaltens (egal, ob Fremder oder Ehemann) zeigte sich in Aktivierungen, die mit Affekt- und Stressmodulation in Verbindung gebracht werden (ventraler ACC, posteriorer cingulärer Cortex, supramarginaler Gyrus und postzentraler Gyrus). Das Handhalten des Ehemannes aktivierte überdies neuronale Bereiche, die mit Emotionsregulation und –ausgleich verbunden werden (DLPFC, Nucleus caudatus, superiorer Colliculus). Die Bindungsstile der Probandinnen wurden über einen Selbstauskunftsfragebogen erhoben. Je vermeidender der Bindungsstil war, desto stärker waren Aktivierungen im rechten ventromedialen PFC. Sichere Bindungswerte korrelierten negativ mit der Aktivierung im ventralen ACC, was darauf verweisen könnte, dass eine sichere Bindung mit einer schwächeren affektiven Reaktion auf bindungsunspezifischen Stress einhergeht.

In einer aktuellen fMRT-Studie mit einem sozialen Bewertungs-Paradigma untersuchten Vrticka et al. (2008) 16 gesunde

männliche Probanden, die sie mit einem Bindungsfragebogen (Adult Attachment Questionnaire; Simpson, 1990) in sichere, vermeidende und ängstliche Bindungsstile einstuften. Den Versuchspersonen wurden im Kernspintomographen in einem sozialen Spielkontext spezifische Stimuli mit freundlich lächelnden oder Ärger ausdrückenden Gesichtsausdrücken gezeigt, die beide jeweils sowohl positives wie auch negatives Feedback als Reaktion auf das Verhalten der Probanden vermittelten. Bei positivem Feedback (und lächelndem Gesicht) wurden das Striatum und ventrale tegmentale Areale aktiviert. Jedoch war dieser Effekt bei vermeidenden Personen (Fragebogeneinschätzung) geringer ausgeprägt. Die Autoren interpretieren hier, dass vermeidende Personen relativ „passiv“ in Bezug auf soziale Belohnung reagieren. Bei der Präsentation von ärgerlichen Gesichtsausdrücken wurde in Verbindung mit einem negativen Feedback bei ängstlich gebundenen Personen die linke Amygdala aktiviert. Dieses Ergebnis wird auf deren erhöhte Sensibilität für soziale Bestrafung interpretiert. Einerseits diskutieren die Autoren, dass diese Ergebnisse im Kontext von Belohnung und Bestrafung einen neuen Hinweis dafür liefern, dass abhängig vom zugrunde liegenden Bindungsstil, zwei affektive Systeme unterscheidbar werden (ventrales Striatum und Amygdala). Andererseits weisen die Ergebnisse darauf hin, dass die spezifische Hirnaktivierung bei der Präsentation von Gesichtsausdrücken nicht durch die Gesichter und emotionale Valenz an sich induziert wird, sondern stärker durch den sozialen Kontext.

■ Innere Arbeitsmodelle von Bindung – Bildgebung und Narrative

Die Bindungsforschung hat darüber hinaus ergeben, dass unterschiedliche Bindungserfahrungen mit wichtigen Bindungspersonen als verinnerlichte Arbeitsmodelle repräsentiert und gespeichert werden. Diese sind gekennzeichnet durch hohe Stabilität und ihre unbewusste Wirkung. In der Bindungsforschung sind Narrative ein „objektivierbares“ Fenster zu diesen internalen Arbeitsmodellen, womit die Sprache in den Fokus des neurobiologischen Forschungsinteresses rückt.

Ziel einer eigenen fMRT-Studie zum attachment system war es, bei gesunden Probanden die eigene Repräsentation von Bindung durch stressauslösende, bindungsrelevante Bilder zu untersuchen (Buchheim et al., 2006). Intendiert war dabei, das Bindungssystem online zu messen, während Probanden spontan Narrative zu Themen wie Verlust, Einsamkeit, Trennung und Bedrohung entwickeln. In unserer Studie wurden den Versuchspersonen im Scanner über eine fMRT-kompatible Videobrille 7 gezeichnete Bilder aus dem Adult Attachment Projective Picture System (AAP; George, West & Pettem, 1999) gezeigt, die graduell das Bindungssystem des Betrachters aktivieren (Bildinhalte: Kind am Fenster, Abschied, Bank, Bett, Notarzt, Friedhof, Kind in der Ecke). Die Versuchspersonen sollten, während sie im MRT-Scanner lagen, durch lautes Sprechen kommentieren, was in jeder Zeichnung dargestellt wird, was in den einzelnen Episoden zu dem gezeigten Ereignis geführt haben könnte, was die dargestellten Personen denken und empfinden und was als Nächstes passieren wird.

Das AAP arbeitet mit der Analyse transkribierter Narrative in Bezug auf spezifische Inhalte und Abwehrprozesse. Es werden die 4 klassischen Bindungskategorien (sicher, distanziert, verstrickt und unverarbeitete Trauer/Trauma) klassifiziert. Anhand der sprachlichen Darstellung der Erzählung zu bindungsrelevanten Themen lässt sich mit großer Genauigkeit feststellen, wie Bindungserfahrungen bei der befragten Person derzeit mental repräsentiert sind (George et al., 1999). Ein unverarbeitetes Trauma (desorganisierte Bindung bei Erwachsenen) wird im AAP dann klassifiziert, wenn die von den Probanden in der Geschichte beschriebenen Charaktere nicht in der Lage sind, bedrohliche Inhalte (z. B. Gefahr, Hilflosigkeit, Misshandlung) emotional zu integrieren und einer konstruktiven Lösung zuzuführen. In diesem Fall können die Personen in den Geschichten auf keine internalisierte sichere Basis zurückgreifen (Hilfe holen, nachdenken), können nicht handeln (sich schützen, nach Hause gehen, sich ablenken), um sich zu reorganisieren.

Wir gingen in unserer Studie (Buchheim et al., 2006) von der Hypothese aus, dass Probandinnen, die im Bindungsnarrativ ein unverarbeitetes Trauma aufweisen, mehr Aktivierungen in limbischen Regionen zeigen als Personen, die Bindungstraumata verarbeitet haben. Die Interaktionsanalysen, die das Zusammenspiel von Bindungsgruppe und ansteigender neuronaler Aktivierung bei der Betrachtung von bindungsrelevanten Bildern berücksichtigten, zeigten, dass nur die Probandinnen mit der Klassifikation „unverarbeitetes Trauma“ eine signifikante Aktivierung in der Amygdala, im Hippocampus und im inferioren temporalen Cortex aufwiesen. Die Amygdala gilt als die zentrale Schaltstelle für das Erkennen und Prozessieren von überwiegend negativen emotionalen Reizen; der Hippocampus wird assoziiert mit dem Speichern von autobiographischen Erinnerungen, der inferiore temporale Cortex mit der Kontrolle von hoch emotionalen Prozessen.

Mit der Entwicklung dieses Paradigmas wurden die Voraussetzungen für die Untersuchung geschaffen, was sich bei Patienten während des Sprechens über bindungsrelevante Themen im Gehirn abbildet und wie sich die Befunde der einzelnen Bindungsgruppen unterscheiden.

■ Befunde mit Borderline-Patientinnen

Die Borderline-Persönlichkeitsstörung ist in der klinischen Bindungsforschung die am meisten untersuchte psychische Störung. Als zentrale Problematik der Borderline-Persönlichkeitsstörung wird heute eine Störung der Affektregulation hervorgehoben (Bohus, Schmahl & Lieb, 2004). Epidemiologische Studien (Zanarini, Frankenburg, Hennen & Silk, 2003) belegen weiterhin sexuellen Missbrauch bzw. emotionale Vernachlässigung bei ca. 90% der Patienten.

Gunderson (1996) bringt die spezifische angstvolle Unfähigkeit von Borderline-Patienten, allein zu sein, mit dysreguliertem Bindungsverhalten in aktuellen Beziehungen und Erfahrungen von Vernachlässigung in der Kindheit in Verbindung.

In Anlehnung an unsere oben erwähnte Pilotstudie (Buchheim et al., 2006) wurde mit dem gleichen Versuchsdesign das AAP auch bei Patienten mit einer Borderline-Persönlichkeitsstörung

im fMRT-Scanner durchgeführt (Buchheim et al., 2008). Ein spezifisches Merkmal der AAP-Bilder ist es, dass einige Szenen Dyaden beinhalten, die aus zwei Erwachsenen oder einem Erwachsenen und einem Kind bestehen und dabei eine potentielle Bindungsbeziehung (z.B. Ehepaar, Mutter und Kind, Großmutter und Enkel) suggerieren. Andere AAP-Bilder sind monadisch aufgebaut, d.h., sie stellen nur einen Erwachsenen oder ein Kind dar. Diese Szenen fordern den Betrachter heraus, eine Beziehung (internal) zu konstruieren. Auf der Verhaltensebene fand sich in unserer Studie, dass die Patienten im AAP in den Geschichten zu Bildern, die Alleinsein repräsentieren, eine signifikant höhere Anzahl von traumatischen Wörtern verwendeten. Analytierte man unter dieser Bedingung die Hirnaktivität, wiesen die Patientinnen im Vergleich zu den Gesunden bei den „monadischen Bildern“ eine höhere Aktivierung in einer Hirnregion auf, die mit Angst oder Schmerz assoziiert ist. Die Patientinnen zeigten eine Aktivierung in einer Region des anterioren cingulären Cortex (ACC) (Buchheim et al., 2008). Der ACC ist keine homogene Gehirnregion (Vogt, 2005) und spielt außer bei der Fehlerkontrolle vor allem bei emotionaler Schmerzwahrnehmung eine wichtige Rolle (Schnitzler & Ploner, 2000). Wir interpretierten diesen Befund als ein mögliches neuronales Korrelat von Schmerz und Furcht, verbunden mit den in den Narrativen gehäuft auftretenden traumatisch-dysregulierenden Wörtern, da die Patientinnen während der Konfrontation mit den monadischen Bildern sowohl auf neuronaler als auch auf sprachlicher Ebene am stärksten reagierten.

In einer prospektiven Follow-up-Studie von Zanarini et al. (2003) zeigte sich, dass noch 6 Jahre nach Therapie 60% der Borderline-Patientinnen von ihrer Angst, verlassen zu werden, berichteten, während sich andere Symptome auf der Verhaltensebene (Selbstverletzung, Impulsivität, interpersonelle Probleme) deutlich gebessert hatten. Dies spricht dafür, dass diese innere Repräsentanz von Alleinsein und eine damit vermutlich einhergehende Desorganisation und Dysregulation des Bindungssystems, ein klinisch relevantes Merkmal darstellen könnten, das persistiert. Dies ist von besonderer klinischer Bedeutung im psychotherapeutischen Fokus in Bezug auf Dauer und Spezifität der Behandlung (Fonagy & Bateman, 2006).

Analytierte man explorativ die Unterschiede bei den dyadischen AAP-Bildern, so zeigt sich, dass die Borderline-Patientinnen eine höhere Aktivierung im superioren temporalen Sulcus (STS) aufweisen als die Kontrollprobandinnen. Der STS wurde in sogenannten ToM-Studien, die neuronale Korrelate dieser Theorie untersuchten, häufig als die wesentliche Hirnregion (z. B. Gallagher & Frith, 2003) eines Netzwerkes zum Reflektieren über andere („thinking about others“) identifiziert (z. B. Saxe & Kanwisher, 2003).

Fonagy, Gergely, Jurist und Target (2003) wiesen nach, dass Borderline-Patienten aufgrund ihrer traumatischen Bindungserfahrungen mit den sie missbrauchenden oder misshandelnden Bindungspersonen eine defizitäre Fähigkeit zur Mentalisierung („thinking about self and others“) entwickeln. Dies zeigt sich entweder in der eingeschränkten Fähigkeit, in emotional überwältigenden Situationen nachzudenken, oder

in einer „Hypersensitivität“ in Bezug auf die mentalen Zustände des anderen. Letzteres äußert sich in übermäßig oder übertrieben analytischen Denkprozessen („psycho-babble“), speziell wenn sie aufgefordert werden, über bindungsrelevante potentiell traumatische Themen zu sprechen. Die erhöhte Aktivierung des superioren temporalen Sulcus könnte als neuronales Korrelat im Kontext dieser Hypersensitivität für bindungsrelevante, hier dyadische Beziehungsstimuli verstanden werden.

Die Kontrollprobandinnen unserer Studie zeigten eine erhöhte Aktivierung im parahippokampalen Gyrus (GH), wenn sie Geschichten zu dyadischen Bildern erzählten. Der GH ist wesentlich an Gedächtnisprozessen beteiligt (Eichenbaum, 2000) und mit der Erinnerung von neutralen Inhalten, die speziell in einem positiven emotionalen Kontext enkodiert wurden (Erk et al., 2003). Die Kontrollprobandinnen unserer Studie erzählten in ihren Narrativen zu den dyadischen Bildern in der Regel von positiven Beziehungsepisoden, die charakterisiert waren durch Synchronizität, Reziprozität und gegenseitiger Freude. Die parahippokampale Aktivierung könnte demnach als ein neuronales Korrelat dieser positiven Erinnerungen an dyadische Bindungserfahrungen angesehen werden.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie von King-Casas et al. (2008) erforschte bindungsrelevante interpersonale Konstrukte eher indirekt in einem wirtschafts- und spieltheoretischen Design bei BPD-Patienten und gesunden Probanden. Untersuchungsgegenstand waren hierbei die neuronalen Korrelate von Ruptur und Restitution von kooperativem Handeln in einem eigens konzipierten Computerprogramm, bei dem jeder Proband und ein diesem unbekannter Mitspieler Geldbeträge austauschten, wobei sich beider Strategie von Geben und Nehmen wechselseitig beeinflussten. Ergebnisse zum Verhalten von BPD-Patienten zeigten eine verminderte Fähigkeit, Kooperation aufrechtzuerhalten, und wiesen einen geringeren Erfolg bei Reparation oder Wiedergutmachung von Disruptionen oder Vertrauensverlust im Spiel aus. Diese Befunde gingen einher mit Ergebnissen der funktionellen Bildgebung, die bei Gesunden eine Korrelation zwischen Aktivierung der anterioren Insularegion und der Höhe der abgegebenen und vom Mitspieler zurückerhaltenen Geldmenge ermittelten, bei BPD-Patienten diesen Zusammenhang jedoch nur für die abgegebene Summe finden konnten. Die Autoren schlussfolgern, dass BPD-Patienten sowohl auf behavioralem als auch neuronalem Level hinsichtlich der Anwendung und Evaluation interaktioneller Normen und Erwartungen stark beeinträchtigt sind.

■ Zum Einfluss von Bindungsstress auf Mentalisierungsfähigkeit im fMRT

In letzter Zeit wurde vermehrt das Zusammenspiel von Bindung, Stress, Affektregulierung und Mentalisierung erörtert (Luyten, Mayes, Fonagy & van Houdenhove, 2009a; Luyten, Fonagy, Mayes & van Houdenhove, 2009b). Dabei stehen sekundäre Bindungsstrategien (Hyperaktivierung bzw. Deaktivierung) als Kompensations- und Adaptionsmechanismen im Vordergrund, wenn die sichere Bindung ermöglichende secure base als primäres internes Arbeitsmodell zur Verarbeitung

bindungsspezifischer Stresssituationen nicht zur Verfügung steht. Diese begünstigenden entwicklungspsychologischen Umweltfaktoren wurden bereits eingangs erwähnt. Des Weiteren konzeptualisieren die Autoren einen generellen neuronalen Entkoppelungsmechanismus zwischen einer Aktivierung des Bindungssystems und Mentalisierungsfähigkeit. Mit steigendem (bindungsrelevantem) Stress sei mit einer Aktivitätsverlagerung von eher präfrontal (kontrollierter) hin zu eher subkortikal (automatischer) prozessierter Mentalisierung zu rechnen. In einer ersten direkten fMRT-Untersuchung dieses Phänomens fanden Nolte et al. (in Vorbereitung), dass nicht Stress allein, sondern bindungsbezogener Stress zur Aktivierung des Bindungssystems und konsekutiver Deaktivierung von Hirnregionen führt, denen eine wesentliche Rolle beim Mentalisieren attribuiert wird. 18 gesunde Probanden führten dabei im Scanner eine revidierte und erweiterte Form des Reading the Mind in the Eyes Tests (RMET) durch. Der RMET besteht aus abgebildeten Augenpartien von Menschen mit verschiedenen mentalen Zuständen, denen emotionale Adjektive zugeschrieben werden sollen (emotion recognition). Als Kontrollkontrastbedingung musste das Alter der abgebildeten Personen geschätzt werden. Dabei wurde deutlich, dass während einer Baseline-Messung das gesamte Mentalisierungs- oder „theory of mind“-Netzwerk während der Emotionsbestimmung stärker aktiv war. Dieses Aktivitätsmuster wurde anschließend mit der Aktivität nach zwei verschiedenen akustischen Stressinduktionen verglichen, in denen Probanden entweder eine persönlich-relevante Vignette zu einer Situation hörten, die a) Bindungsstress oder b) „normalen“ Stress beinhaltete. Für beide Induktionen wurden zuvor Skripte erstellt und aufgenommen, in denen Probanden die während der letzten 12 Monate am meisten stressauslösende, sie belastende und ausweglos erscheinende Situation schilderten. „Normaler“ Stress sollte dabei nicht direkt andere Personen einbeziehen (häufige Inhalte der Vignetten: Prüfungsvorbereitung etc.). Bindungsskripte sollten von stressauslösender Interaktion mit anderen geprägt sein und Bindungsthemen im engeren Sinne beinhalten (Beziehungsabbruch mit Partner, Beerdigung etc.). Die subjektive Stresseinschätzung war dabei für beide Induktionen gleich hoch. Die Reihenfolge der Induktion erwies sich als nicht ausschlaggebend. Normaler Stress führte zu keiner signifikanten Deaktivierung während des RMET. Bindungsstress jedoch hatte sowohl eine Abnahme der Anzahl korrekter Antworten, eine Zunahme der benötigten Reaktionszeit sowie eine Deaktivierung von Hirnregionen (superiorer temporaler Sulcus, temporoparietaler Übergang) zur Folge, die essentiell für Mentalisierung sind. Inwieweit individuelle Einflussfaktoren (Bindungsstil, Selbst- und Objektrepräsentanzen) hierbei moderierend wirken, wird derzeit untersucht. Auch Befunde hinsichtlich funktioneller Konnektivität während der Induktionsphasen und resting-state-Aktivierung (Ruhebedingung) stehen noch aus.

■ Fazit

Die bisherige Forschung lässt es noch nicht zu, ein spezifisches neuronales Netzwerk von Bindung beschreiben zu können. Zu verschieden sind dazu die in den Studien verwendeten Paradigmen, als dass sie direkte Vergleiche der Ergebnisse ermöglichen. Es zeichnen sich allerdings erste Befunde ab, nach denen wiederholt Regionen wie die Amygdala und orbito-/präfrontale kortikale Strukturen involviert sind, wenn bindungsrelevante Stimuli prozessiert werden. Bindung im neurowissenschaftlichen Kontext hat sich zudem nicht als monolithisches, sondern vielmehr hochkomplexes high-order-Konstrukt erwiesen, und die divergenten Paradigmen spiegeln vielleicht nur unterschiedliche Verständnisse von Bindung in sozialpsychologischer und klinischer Forschung wider. Erste Belege zeichnen sich jedoch ab. Wenn Aspekte des „caregiving system“ (Dopamin-assoziierte Areale im Belohnungssystem) untersucht werden, sind andere Hirnstrukturen aktiv als jene, die als neuronale Korrelate des „attachment system“ postuliert werden. Hier wäre es notwendig, die verschiedenen Konstrukte an derselben Person zu testen.

Dennoch lassen sich auch methodische Schwächen einiger Studien eruieren. Die Frage, wann das Bindungssystem (im Bowlby'schen Sinne) aktiv wird, steht dabei im Zentrum. Ob das bloße Betrachten von Fotos hierzu ausreichend ist, scheint fragwürdig. Einige Ansätze, dieses Problem zu operationalisieren, wurden in dieser Übersicht erwähnt. Mehr Forschungsanstrengung ist allerdings nötig, gerade auch im Hinblick auf individuelle Unterschiede (und hierbei vor allem: differentielle Bindungsrepräsentanzen und Grade von Bindungssicherheit). Dabei sind größere Stichproben zwingend notwendig, in denen jede Bindungskategorie ausreichend repräsentiert ist. Es erscheint weiterhin fruchtbar, indirekt den Einfluss von Bindung auf Stress- und Emotionsregulation zu messen. Dies sollte auch experimentelle Manipulationen beinhalten, die situative kontextbezogene Faktoren integrieren, wenn Bindung in Bezug zu anderen Konstrukten gesetzt wird.

■ Literatur

- Amodio, D.M. & Frith, C.D. (2006). Meeting of minds: the medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(4), 268-277.
- Bartels, A. & Zeki, S. (2000). The neural basis of romantic love. *NeuroReport*, 11, 3829-3834.
- Bartels, A. & Zeki, S. (2004). The neural Correlates of Maternal and romantic Love. *Neuroimage*, 21, 1155-1166.
- Bohus, M., Schmahl, Ch., Lieb, K. (2004). New developments in the neurobiology of borderline personality disorder. *Current Psychiatry Reports*, 6, 43-504.
- Bowlby, J. (1973). *Attachment and Loss (Vol. 2): Separation, Anxiety and Anger*. London: Hogarth Press.
- Bowlby, J. (1980). *Attachment and Loss (Vol. 3): Loss*. New York: Basic Books.

- Buchheim, A., Erk, S., George, C., Kächele, H., Martius, P., Pokorny, D., Ruchow, M., Spitzer, M. & Walter, H. (2008). Neural correlates of attachment dysregulation in borderline personality disorder using functional magnetic resonance imaging. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 163, 223-235.
- Buchheim, A., Erk, S., George, C., Kächele, H., Ruchow, M., Spitzer, M., Kircher, T. & Walter, H. (2006). Measuring attachment representation in an fMRI environment: A pilot study. *Psychopathology*, 39, 144-152.
- Coan, J.A., Schaefer, H.S. & Davidson, R.J. (2006). Lending a hand: social regulation of the neural response to threat. *Psychological Science*, 17(12), 1032-1039.
- Craig, A.D. (2009). How do you feel - now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 59-70.
- Egle, U.T., Hoffmann, S.O. & Steffens, M. (1997). Psychosocial risk and protective factors in childhood and adolescence as predisposition for psychiatric disorders in adulthood. Current status of research. *Nervenarzt*, 68, 683-695.
- Eichenbaum, H. (2000). A cortical-hippocampal system for declarative memory. *Nature Neuroscience*, 1, 41-50.
- Erk, S., Kiefer, M., Grothe, J., Arthur, P., Wunderlich, A., Spitzer, M. & Walter, H. (2003). Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage*, 18, 430-447.
- Ferstl, E.C. & von Cramon, D.Y. (2002). What does the frontomedial cortex contribute to language processing: Coherence or theory of mind? *Neuroimage*, 17, 1599-1612.
- Fletcher, P.C., Frith, C.D., Baker, S.C., Shallice, T., Frackowiak, R.S. & Dolan, R.J. (1995). The mind's eye - precuneus activation in memory-related imagery. *Neuroimage*, 2, 195-200.
- Fonagy, P., Gergely, G., Jurist, E.L. & Target, M. (2003). *Affect regulation, mentalization, and the development of the self*. New York: Other Press.
- Fonagy, P. & Bateman, A. (2006). Progress in the treatment of borderline personality disorder. *British Journal of Psychiatry*, 188, 1-3.
- Gallagher, H.L. & Frith, C.D. (2003). Functional imaging of "theory of mind". *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 77-83.
- George, C., West, M. & Pettem, O. (1999). The Adult Attachment Projective - disorganization of Adult Attachment at the level of representation. In J. Solomon & C. George (Eds.), *Attachment disorganization* (pp. 462-507). New York: Guilford.
- Gillath, O., Bunge, S.A., Shaver, P., Wendelken, C. & Miculincer, M. (2005). Attachment style differences in the ability to suppress negative thoughts: Exploring the neural correlates. *Neuroimage*, 28, 835-47.
- Gunderson, J.G. (1996). The borderline patient's intolerance of aloneness: Insecure attachments and therapist availability. *American Journal of Psychiatry*, 153, 752-758.
- Gusnard, D.A., Akbudak, E., Shulman, G.L., & Raichle, M.E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 98(7), 4259-4264.
- Insel, T.R. & Young, L.J. (2001). The neurobiology of attachment. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 129-136.
- King-Casas, B., Sharp, C, Lomax-Bream, L., Lohrenz, T., Fonagy, P. & Montague, P.R. (2008). The Rupture and Repair of Cooperation in Borderline Personality Disorder. *Science*, 321, 806-810.
- Leibenluft, E., Gobbini, M.I., Harrison, T. & Haxby, J.V. (2004). Mothers' neural activation in response to pictures of their children and other children. *Biological Psychiatry*, 15, 225-232.
- Lemche, E., Giampietro, V.P., Surguladze, S.A., Amaro, E.J., Andrew, C.M., & Williams, S.C.R. (2006). Human attachment security is mediated by the amygdala: Evidence from combined fMRI and psychophysiological measures. *Human Brain Mapping*, 27, 623-635.
- Luyten, P., Mayes, L., Fonagy, P. & van Houdenhove, B. (2009a). The interpersonal regulation of stress. Unpublished manuscript.
- Luyten, P., Fonagy, P., Mayes, L. & van Houdenhove, B. (2009b). Mentalization as a multidimensional concept. Manuscript submitted for publication.
- Miranda-Paiva, C.M., Ribeiro-Barbosa, E.R., Canteras, N.S. & Felicio, L.F. (2003). A role for the periaqueductal grey in opioidergic inhibition of maternal behaviour. *European Journal of Neuroscience*, 18, 667-674.
- Nitschke, J.B., Nelson, E.E., Rusch, B.D., Fox, A.S., Oakes, T.R. & Davidson, R.J. (2004). Orbitofrontal cortex tracks positive mood in mothers viewing pictures of their newborn infants. *Neuroimage*, 21, 583-592.
- Nolte, T., Hudac, C.M., Mayes, L.C., Fonagy, P. & Pelphrey, K.A. (in preparation). Brain Mechanisms underlying the Impact of Attachment-Related Stress on Social Cognition.
- Phillips, M.L., Drevets, W.C., Rauch, S.L. & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception. I: The neural basis of normal emotion perception. *Biological Psychiatry*, 54, 504-514.
- Ramasubbu, R., Masalovich, S., Peltier, S., Holtzheimer, P.E., Heim, C. & Mayberg, H.S. (2007). Neural representation of maternal face processing: a functional magnetic resonance imaging study. *Canadian Journal of Psychiatry*. 52(11), 726-34.
- Saxe, R. & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people. The role of the temporoparietal junction in „theory of mind“. *Neuroimage*, 19, 1835-1842.
- Schnitzler, A. & Ploner, M. (2000). Neurophysiology and functional neuroanatomy of pain perception. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 1, 592-603.
- Simpson, J. (1990). Influence of attachment styles on romantic relationships. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59, 971-980.
- Singer, T., Seymour, B., O'Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R.J. & Frith, C.D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, 303(5661), 1157-1162.
- Strathearn, L., Li, J., Fonagy, P., Montague, P. (2008). What's in a smile? Maternal brain responses to infant facial cues. *Pediatrics*, 122(1), 40-51.
- Strathearn, L., Fonagy, P., Amico, J. & Montague, R.P. (2009). Adult Attachment Predicts Maternal Brain and Oxytocin Response of Infant Cues. *Neuropsychopharmacology*, 34, 2655-2666.
- Vogt, B.A. (2005). Pain and emotion interactions in subregions of the cingulate gyrus. *Nature*, 6, 533-544.
- Vrticka, P., Andersson, F., Grandjean, D., Sander, D. & Vuilleumier, P. (2008). Individual attachment style modulates human amygdala and striatum activation during social appraisal. *PLoS One*, 3(8), e2868.
- Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J.P., Gallese, V. & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40(3), 655-664.

Zalla, T., Koechlin, E., Pietrini, P., Basso, G., Aquino, P., Sirigu, A. et al. (2000). Differential amygdala responses to winning and losing: A functional magnetic resonance imaging study in humans. *European Journal of Neuroscience*, 12, 1764-1770.

Zanarini, M.C., Frankenburg, F.R., Hennen, J., & Silk, K.R. (2003). The longitudinal course of borderline psychopathology: 6 year prospective follow up of the phenomenology of Borderline Personality Disorder. *American Journal of Psychiatry*, 20, 274-283.

■ **Korrespondenzadresse**

Prof. Dr. Anna Buchheim
 Institut für Psychologie
 Universität Innsbruck | Innrain 52 | A-6020 Innsbruck
 anna.buchheim@uibk.ac.at

Dr. Svenja Taubner
 Universität Kassel/Fachbereich 4

Ella Fizke
 Institut für Psychologie, Universität Kiel

Dr. Tobias Nolte
 The Anna Freud Centre, London

Tabelle 1: Bindungs-Studien mit bildgebenden Verfahren

Studie	Bindungssystem	fMRT-Paradigma	Aktivierungen
Bartels & Zeki (2000)	sexuell	Foto des geliebten Partners vs. Foto eines nahestehenden Freundes vs. Foto eines Fremden	Orbitofrontal Amygdala Insula Theory-of-mind-Netzwerk
Bartels & Zeki (2004)	Fürsorge	Foto des eigenen Babys vs. Foto eines bekannten Babys vs. Foto eines fremden Babys	Orbitofrontal Amygdala Insula Theory-of-mind-Netzwerk Zentrales Höhlengrau
Nitschke et al. (2004)	Fürsorge	Foto des eigenen Babys vs. Foto eines fremden Babys vs. Foto eines Erwachsenen	Orbitofrontal
Leibenluft et al. (2004)	Fürsorge	Foto des eigenen Babys vs. Foto eines fremden Babys vs. Foto eines Erwachsenen	Amygdala Insula Anteriorer paracingulärer Cortex Posteriorer superiorer temporaler Sulcus
Strathearn et al. (2008)	Fürsorge	Fotos des eigenen Babys (fröhlich, traurig, neutral) vs. Fotos eines fremden Babys (fröhlich, traurig, neutral)	Ventral tegmental Substantia nigra Striatum Orbitofrontal
Gillath et al. (2005)	sexuell	Denken an negative Bindungserlebnisse vs. Denken an nichts	Bei Bindungsangst: Anteriorer Temporalpol Orbitofrontal
Lemche et al. (2006)	Bindung	Zustimmung bei selbstzentrierten oder fremdzentrierten Sätzen bei subliminalem Priming (neutrale vs. negative Bindungserfahrungen)	Stress-Priming-Bedingung: Amygdala Linkes ventrales Striatum (korreliert positiv mit Bindungsunsicherheit)

Coan et al. (2006)	sexuell	Antizipierter Schmerz während der Ehemann, ein Fremder oder keiner die Hand hält	DLPFC Nucleus caudatus Superior colliculus
Vrticka et al. (2008)	affiliativ	Spielkontext mit unterstützendem oder feindseligem Feedback (Gesichtsausdrücke)	Feindselig: Amygdala (nur bei Bindungsunsicherheit) Unterstützend: Striatum und ventrale tegmentale Areale (korreliert negativ mit Bindungsunsicherheit)
Ramasubbu et al. (2007)	Bindung	Foto der eigenen Mutter vs. Foto einer nahen Freundin vs. Foto einer Fremden	rechter ventromedialer präfrontaler anteriorer cingulärer Cortex (VMPFC-ACC)
Buchheim et al. (2006)	Bindung	Erzeugen von Narrativen (Geschichten) zum Adult Attachment Projective Picture System im Kernspintomographen	Bei unverarbeitetem Trauma (Bindungsdesorganisation) im Verlauf der Bindungsaufgabe: Amygdala Hippocampus Inferiorer temporaler Cortex
Buchheim et al. (2008)	Bindung	Erzeugen von Narrativen (Geschichten) zum Adult Attachment Projective Picture System im Kernspintomographen	Borderline-Patientinnen mit unverarbeitetem Trauma (Bindungsdesorganisation) bei <i>monadischen</i> Bildern: Anteriorer cingulärer Cortex (aMCC) bei <i>dyadischen</i> Bildern: Superiorer temporaler Gyrus Parahippocampus
Strathearn et al. (2008)	Fürsorge	Fotos des eigenen Babys (fröhlich, traurig, neutral) vs. Fotos eines fremden Babys (fröhlich, traurig, neutral) im Abhängigkeit zu mütterlicher Bindungsklassifikation mittels AAI plus Oxytozin-Messung	Sicher gebundene Mütter: Striatum, Hypothalamus und Hypophyse sowie periphere Oxytozinwerte > unsicher gebundene Mütter. Unsicher-vermeidende Mütter (traurige Fotos): Insula
King-Casas et al. (2008)	Kooperation/Vertrauen	BPD-Patienten und Gesunde in virtuellem Geldtausch-„Spiel“ in mehreren Runden. Testung von Reaktion und neuronaler Korrelate auf Vertrauensbruch im Spiel und Wiedergutmachung („Geben und Nehmen“)	Gesunde Probanden: Aktivierung von anteriorer Insula, korreliert mit Menge des erhaltenen und zurückgezählten Geldes BPD: gleicher Zusammenhang, jedoch nur zutreffend für zurückgezählte Summen
Nolte et al. (in Vorbereitung)	Bindung und Mentalisierung	Erweiterte Version des „Reading the Mind in the Eyes“-Tests als Baselinebedingung, nach Stress-Induktion und nach Bindungsstress-Induktion	Social Cognition/ Mentalisierungsnetzwerk online während Baseline, relative Deaktivierung in diesen Regionen nach Stress, noch stärkere Deaktivierung nach Bindungsstress (v.a. superiorer temporaler Sulcus, STS und temporoparietaler Übergang TPJ)