

AUS DER KLINIK UND POLIKLINIK FÜR KINDER- UND  
JUGENDPSYCHIATRIE, PSYCHOSOMATIK UND PSYCHOTHERAPIE  
KLINIK DER LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
DIREKTOR: PROF. DR. MED. GERD SCHULTE-KÖRNE

**Die Verarbeitung von leistungsgebundenem und sozialem  
Feedback bei Jugendlichen mit und ohne Depression**



Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie  
an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
zu München

vorgelegt von  
Dipl.-Psych. Iris Landes  
aus Heilbronn

2020

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Gerd Schulte-Körne  

---

Mitberichterstatter: PD Dr. Ina Giegling  
Prof. Dr. Rüdiger von Kries  

---

Mitbetreuung durch die  
promovierte Mitarbeiterin: PD. Dr. rer. medic. Ellen Greimel  

---

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel  

---

Tag der mündlichen Prüfung: 17.03.2020  

---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>6</b>
<b>Einleitung zur kumulativen Dissertation</b> .....	<b>7</b>
<b>Hintergrund</b> .....	<b>7</b>
Das Erscheinungsbild der Major Depression in der Adoleszenz .....	7
Möglichkeiten zur Erfassung der Feedbackverarbeitung .....	8
Merkmale der Feedbackverarbeitung in der Adoleszenz .....	9
Besonderheiten der Feedbackverarbeitung bei Depression.....	11
<b>Übersicht zu den publizierten Fachartikeln</b> .....	<b>13</b>
Fragestellungen und Ergebniszusammenstellung .....	13
Zusammenfassende Diskussion und Ausblick .....	15
<b>Studienablauf und Darstellung des eigenen Beitrags</b> .....	<b>17</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>20</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>29</b>
<b>Studie 1</b> <b>Altered neural processing of reward and punishment in adolescents with Major Depressive Disorder</b> .....	<b>30</b>
<b>Studie 2</b> <b>Sex differences in the neural underpinnings of social and monetary incentive processing during adolescence</b> .....	<b>31</b>
<b>Studie 3</b> <b>Zurückweisungsempfindlichkeit bei Jugendlichen mit Depression</b> .....	<b>32</b>
<b>Supplement Studie 1</b> .....	<b>33</b>
<b>Supplement Studie 2</b> .....	<b>39</b>
<b>Eidesstattliche Versicherung</b> .....	<b>41</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>42</b>

## Zusammenfassung

Eine Depression ist eine sehr häufige psychische Erkrankung, deren Prävalenz im Jugendalter rapide zunimmt. Während im Kindesalter ähnlich viele Jungen wie Mädchen an Depression leiden, sind die Prävalenzzahlen in der Adoleszenz bei Mädchen relativ zu Jungen verdoppelt. Depressive Erkrankungen, die vor dem Erwachsenenalter beginnen, sind mit einem deutlich gesteigerten Rezidivrisiko und besonders weitreichenden psychosozialen Beeinträchtigungen verbunden. Kernmerkmale der Depression sind eine niedergedrückte Stimmung, Antriebslosigkeit sowie Anhedonie, welche einen anhaltenden Interessens- oder Freudverlust gegenüber bisher positiv bewerteten Aktivitäten bezeichnet.

Im Zusammenhang mit dem Kernmerkmal der Anhedonie wurde in den letzten Jahren verstärkt die Verarbeitung von belohnendem Feedback bei Menschen mit einer Depression untersucht. Bei depressiven Erwachsenen gibt es deutliche Hinweise auf eine veränderte Wahrnehmung und Verarbeitung von verschiedenartigem Feedback, welche überdies als wichtige Vulnerabilitätsfaktoren der Erkrankung diskutiert werden. Feedback, auch auf sozialer Ebene (z. B. als Lob oder Zurückweisung), ist für Jugendliche von zentraler Bedeutung. Im Jugendalter finden zahlreiche neuronale Reifungsprozesse in Gehirnregionen statt, die für die Verarbeitung von Feedback wesentlich sind. Es ist daher von hoher Relevanz, Feedbackprozesse gerade auch bei der Depression im Jugendalter zu untersuchen. Bisherige Studien zu neuronalen Feedbackprozessen bei depressiven Jugendlichen weisen auf eine verminderte Responsivität für belohnendes Feedback hin, beschränken sich jedoch weitestgehend auf bildgebende Verfahren.

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, bei depressiven sowie gesunden Jugendlichen die Verarbeitung positiven und negativen Feedbacks näher zu charakterisieren. Dieses Ziel wurde in den drei zugrundeliegenden Studien aus komplementären Blickwinkeln adressiert: In **Studie 1** wurden bei Jugendlichen mit Depression neurophysiologische Veränderungen in der Verarbeitung von leistungsgebundener Belohnung und Bestrafung mittels ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) untersucht. Vor dem Hintergrund von Geschlechtsdifferenzen in der Prävalenz der Depression im Jugendalter wurden in **Studie 2** bei gesunden Jugendlichen geschlechtsspezifische Merkmale der Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung mittels EKPs analysiert. Ein einheitliches, experimentelles Paradigma (Incentive Delay Task) sollte die Vergleichbarkeit von Studie 1 und 2 ermöglichen. In **Studie 3** wurde bei Jugendlichen mit Depression mittels Fragebogenverfahren erfasst, wie diese auf sozial zurückweisendes Feedback reagieren.

Die Ergebnisse lassen sich spezifisch in Phasen der Erwartung (Antizipation) und des Erhalts von Feedback unterteilen. In **Studie 1** wurden bei depressiven (versus gesunden) Jugendlichen Veränderungen bei neurophysiologischen Korrelaten der Belohnungsverarbeitung erkennbar. Die Studienergebnisse weisen in der Phase der Antizipation auf eine verzögerte Aufmerksamkeitszuwendung auf Belohnungshinweise hin. Beim Erhalt von Feedback hingegen indizieren die Ergebnisse bei depressiven Jugendlichen eine relativ beschleunigte Aufmerksamkeitszuwendung auf belohnungsbezogene Reize. Demnach könnte der Erhalt von belohnungsrelevantem, leistungsgebundenem Feedback von Jugendlichen mit einer Depression, trotz der negativen Grundstimmung im Rahmen der Erkrankung, bevorzugt verarbeitet werden. In **Studie 2** zeigten sich zwischen gesunden adoleszenten Mädchen und Jungen Geschlechtsunterschiede in der neurophysiologischen Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung. Diese legen bei Jungen (versus Mädchen) eine geringere Aufmerksamkeit für negative soziale Reize bei der Antizipation nahe. Bei Jungen zeigte sich zudem eine vergleichsweise reduzierte neurophysiologische Aktivierung auf bestrafungsbezogenes (versus belohnungsbezogenes) sowie auf soziales (versus monetäres) Feedback. Jungen, nicht aber Mädchen, wiesen somit für negatives soziales Feedback eine relative Hyporesponsivität auf. Dies könnte zu einer geringeren Vulnerabilität für eine Depression bei männlichen relativ zu weiblichen Jugendlichen beitragen. In **Studie 3** wurde bei depressiven (versus gesunden) Jugendlichen eine erhöhte Empfindlichkeit für negatives soziales Feedback ersichtlich. Depressive Jugendliche gaben zudem an, vermehrt mit Resignation und Selbstattribution auf soziale Zurückweisungs-situationen zu reagieren.

Zusammengefasst weisen die Befunde auf physiologische Geschlechtsunterschiede bei der Feedbackverarbeitung Jugendlicher hin. Zudem wurden veränderte Feedbackprozesse bei Jugendlichen mit einer Depression sowohl auf neurophysiologischer Ebene als auch mittels Fragebogenverfahren ersichtlich. Aus den Befunden könnten künftige Ansatzpunkte zur therapeutischen Prä- und Intervention bei depressiven Jugendlichen abgeleitet werden.

## Summary

Depression is a very common mental illness, whose prevalence is rapidly increasing during adolescence. While boys and girls have similar rates of depression during childhood, prevalence rates are doubled in girls relative to boys during adolescence. Preadult-onset depressive disorders are associated with a significantly heightened risk of recurrence and with particularly far-reaching psychosocial impairments. Core features of depression are depressed mood, reduction of energy, and anhedonia, which refers to a sustained loss of interest or pleasure in previously positively valued activities.

In connection with the core feature of anhedonia, reward-related feedback processing has been increasingly investigated in people with depression in recent years. There is significant evidence of an altered perception and processing of feedback in depressed adults and these characteristics are further discussed as important vulnerability factors for the disorder. Feedback, including feedback at the social level (e. g. as praise or social rejection), is of central significance for adolescents. Multiple neural maturation processes in brain regions that are related to feedback processing take place during adolescence. It is therefore highly relevant to investigate feedback processes, especially in adolescents with depression. Previous studies on neural feedback processes in depressed adolescents indicate a reduced responsivity to rewarding feedback; yet, these studies have mostly been restricted to imaging techniques.

The aim of the present dissertation is to further characterize the processing of positive and negative feedback in depressed as well as in healthy adolescents. This aim was addressed from complementary perspectives in the three underlying studies: In **study 1**, neurophysiological alterations in the processing of performance-dependent reward and punishment were examined in adolescents with depression using event-related potentials (ERPs). In light of sex differences in the prevalence of depression during adolescence, **study 2** analyzed sex-specific features in the processing of reward and punishment in healthy adolescents using ERPs. A uniform, experimental paradigm (Incentive Delay Task) was applied to allow comparability of study 1 & 2. In **study 3**, questionnaire data was collected in adolescents with depression on how they respond to socially rejecting feedback.

The study results can be divided into specific anticipatory and consummatory stages of feedback processing. In **study 1**, alterations in the neurophysiological correlates of reward processing were found in depressed (versus healthy) adolescents. During the anticipatory stage of feedback processing, the findings point towards a delayed attentional allocation to reward-predicting cues. During the consummatory stage of feedback processing, however, the results indicate a comparatively accelerated attentional allocation to reward-related stimuli in depressed adolescents. Thus, despite a negative affect in depression, reward-related, performance-contingent feedback might be processed in a prioritized manner during feedback consumption in adolescents with depression. In **study 2**, healthy adolescent girls and boys displayed sex differences in the neurophysiological processing of reward and punishment. The sex differences suggest a reduced attentional allocation to negative social stimuli during the anticipatory stage of feedback processing in boys (versus girls). Moreover, in boys, a relatively diminished neurophysiological activation to punishment-related (versus reward-related) and to social (versus monetary) feedback became apparent. Thus, unlike in girls, a relative hyporesponsiveness for negative social feedback was evident in male adolescents. This might contribute to a lower vulnerability to depression in boys versus girls during adolescence. In **study 3**, a higher sensitivity for negative social feedback was apparent in depressed (versus healthy) adolescents. Further, adolescents with depression reported higher levels of resignation and self-attribution after fictitious social rejection.

In sum, the study results indicate physiological sex differences in the processing of feedback during adolescence. In addition, at a neurophysiological level as well as according to questionnaire data, altered feedback processes were identified in adolescents with depression. Future prevention and intervention approaches for adolescents with depression might be derived from the study results.

# Einleitung zur kumulativen Dissertation

## Hintergrund

### Das Erscheinungsbild der Major Depression in der Adoleszenz

Die Major Depression wird zu den affektiven Störungen gezählt (American Psychiatric Association (APA), 2013) und ist eine eigenständige, behandlungsbedürftige und schwerwiegende psychische Erkrankung. Allein in Deutschland betrifft sie über vier Millionen Erwachsene (18-79 Jahre; Jacobi et al., 2016) und zählt damit zu den häufigsten psychischen Leiden hierzulande. Oftmals manifestiert sie sich erstmalig bereits im Jugendalter (Kessler et al., 2005; Williams et al., 2012). In dieser Lebensphase sind massive Prävalenzanstiege der Erkrankung zu verzeichnen. Während mit 12 Jahren die Ein-Jahres-Prävalenzrate etwa 5% beträgt, steigt sie bei den 12- bis 17-Jährigen auf knapp 13% an und liegt mit 17 Jahren bei bis zu 17% (Center for Behavioral Health Statistics and Quality, 2017, S. 2564). Für Jugendliche von 10 bis 19 Jahren sind Depressionen eine primäre Ursache für Krankheitslast in wohlhabenden Ländern (quantifiziert als Verlust behinderungsbereinigter Lebensjahre in Ländern mit hohem Einkommen; World Health Organization (WHO), 2017).

Eine Depression, die bereits im Kindes- oder Jugendalter beginnt (early-/adolescent-onset depression), ist mit besonders gravierenden psychosozialen und akademischen Folgen sowie Funktionseinschränkungen verbunden (Zisook et al., 2007; Rao & Chen, 2009). Depressionen im Jugendalter sind einer der stärksten Risikofaktoren für Suizide in diesem Alter (Windfuhr et al., 2008) und bei etwa 63% der an Major Depression erkrankten Jugendlichen kommt es auch im Erwachsenenalter zu einem Wiederauftreten der Krankheit (Fombonne et al., 2001). Auch ist bei depressiven Jugendlichen das Risiko für eine spätere Entwicklung von Substanzabhängigkeiten deutlich erhöht (Fergusson & Woodward, 2002).

Eine Vielzahl kognitiver, behavioraler und neurovegetativer Symptome (z. B. reduzierter Selbstwert, Antriebslosigkeit, verminderter Appetit) kennzeichnet das Erscheinungsbild der Major Depression. Eine niedergedrückte Grundstimmung und/oder ein deutlicher Interessens- oder Freudverlust (Anhedonie) müssen bei der Diagnosestellung, gemäß den beiden gängigen internationalen Klassifikationssystemen (ICD-10; WHO, 1992 und DSM-5; APA, 2013), als Kernsymptome zwingend vorliegen. Die Diagnosekriterien sind hierbei für Jugendliche und Erwachsene nahezu identisch (Thapar et al., 2010). Allerdings kann im Jugendalter eine reizbare Stimmung das Primärsymptom der niedergedrückten Grundstimmung ersetzen (APA, 2013). Eine zentrale Bedeutung wird für das Merkmal der Anhedonie angenommen (Gabbay et al., 2015), das etwa drei Viertel der Jugendlichen mit einer Depression betrifft (Lewinsohn et al., 2003). In diesem Zusammenhang ist es von hoher Relevanz, die Verarbeitung belohnungsbezogener Hinweise und Feedbackreize bei der Depression im Jugendalter und im Rahmen von physiologischen Entwicklungsprozessen bei Jugendlichen umfassend zu charakterisieren und zu verstehen (Forbes & Dahl, 2012).

## **Möglichkeiten zur Erfassung der Feedbackverarbeitung**

Eine Möglichkeit, um Feedbackprozesse detailliert zu untersuchen, stellen experimentelle Studien dar (Höflich et al., 2018). Eine Vielzahl dieser Studien erfasst neben behavioralen Daten auch die neurophysiologischen Korrelate oder neuronalen Aktivierungsmuster der Prozesse. Dabei wird oftmals zwischen Phasen der Erwartung (Antizipation) und des Erhalts von Feedback differenziert (Broyd et al., 2012). Beide Phasen könnten in den zu Grunde liegenden neuronalen Arealen (Dillon et al., 2008) und Korrelaten (Broyd et al., 2012) differieren und Verhalten separat beeinflussen (Pizzagalli et al., 2009). Wird Feedback leistungsgebunden präsentiert (z. B. Broyd et al., 2012), so stimmen die Wertigkeit (Valenz) des Feedbacks und die Performanz des Probanden direkt überein. Demnach erfolgt bei guter Aufgabenbewältigung positives, andernfalls negatives Feedback. Feedback kann aber auch zufällig erfolgen (z. B. im Rahmen von Glücksspielaufgaben; siehe Crowley et al., 2013). Monetäres Feedback wird häufig als Belohnung in Form von Geldgewinn und/oder als Bestrafung in Form von Geldverlust dargeboten (Lutz & Widmer, 2014). Soziales Feedback wird meist positiv als Akzeptanz oder negativ als Zurückweisung präsentiert (z. B. Cauette & Guyer, 2016). Sogenannte Incentive Delay Tasks werden zur Analyse monetärer (Monetary Incentive Delay Task; Knutson et al., 2000) oder sozialer Feedbackprozesse (Social Incentive Delay Task; Spreckelmeyer et al., 2009) häufig eingesetzt (Lutz & Widmer, 2014). Der Proband hat die Aufgabe, mit Tastendruck auf einen Zielreiz zu reagieren, der von einem Hinweisreiz (Cue) angekündigt wird. Bei Reaktion innerhalb eines Reaktionszeitfensters erfolgt positives, bei zu später Reaktion negatives Feedback. Durch individuelle Anpassung des Reaktionszeitfensters kann erreicht werden, dass positives und negatives Feedback etwa gleich oft erfolgt, was sich als motivationsförderlich erwies (Martens & White, 1975). Incentive Delay Paradigmen sind gut etabliert und zur Erfassung von Prozessen der Antizipation und des leistungsgebundenen Feedbackerhalts geeignet (Novak & Foti, 2015).

Die sehr gute zeitliche Auflösung bei der Messung ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) ermöglicht eine detaillierte zeitliche Abgrenzung der neuronalen Korrelate von Feedback-antizipation und -erhalt (Goldstein et al., 2006; Banaschewski & Brandeis, 2007). Zu den relevanten EKP-Komponenten (Glazer et al., 2018; Novak et al., 2016) bei der Antizipation von Feedback zählen die Cue-P3 (cP3) und die stimulus-preceding negativity (SPN). Beide Komponenten werden mit antizipatorischen Aufmerksamkeitsprozessen assoziiert, wobei sich die cP3 direkt auf die Verarbeitung des Hinweisreizes bezieht, die SPN hingegen erst kurz vor der Feedbackpräsentation erfasst wird. Beim Feedbackerhalt sind die Feedback-P3 (fP3) und die reward positivity (RewP) zentral. Die fP3 gilt als Maß der Aufmerksamkeits-zuwendung auf den Feedbackreiz hin. Die RewP wird als Differenzwelle von positivem minus negativem Feedback berechnet und mit der Evaluation von Feedback in Verbindung gebracht. Die RewP wurde ursprünglich als eine feedback (-related) negativity (FN/FRN) in Form einer Differenzwelle von negativem minus positivem Feedback konzeptualisiert. Bei beiden Arten der Berechnung ist der Valenzeffekt (Abstand: positiv zu negativ) gleich. Die aktuelle Forschungsliteratur (z. B. Novak et al., 2016) bezieht sich regelmäßig auf die RewP-Konzeptualisierung, welcher auch diese Dissertation folgt (für Details siehe Proudfit, 2015).



Eine weitere Möglichkeit, um wesentliche Aspekte der Feedbackverarbeitung detailliert zu untersuchen, stellen Fragebogenverfahren dar. Der für die adoleszente Erlebniswelt zentrale Umgang mit negativem sozialen Feedback (z. B. Zurückweisung; Platt et al., 2013) kann mit Hilfe des Child Rejection Sensitivity Questionnaire (Downey et al., 1998) beleuchtet werden. Dieser erfasst die Zurückweisungsempfindlichkeit bei Kindern und Jugendlichen, welche definiert wird als kognitiv-affektive Disposition, Zurückweisung ängstlich zu erwarten, als wahrscheinlicher anzunehmen und darauf extrem zu reagieren (Downey et al., 1994). Zurückliegende soziale Lernerfahrungen (Pietrzak et al., 2005) sowie genetische Faktoren (Gillespie et al., 2001) scheinen die individuelle Zurückweisungsempfindlichkeit zu bedingen.

### **Merkmale der Feedbackverarbeitung in der Adoleszenz**

Der spezifische Entwicklungsabschnitt der Adoleszenz wird durch eine Reihe von Veränderungen auf psychologischer, physiologischer und sozialer Ebene charakterisiert (Ernst et al., 2006). In diesem Lebensabschnitt finden weitreichende Reifungsprozesse in neuronalen Schaltkreisen statt, die u. a. bei sozial-affektiven Prozessen (Greimel, 2011) und der Belohnungs- und Bestrafungsverarbeitung (Rubia, 2013) eine wesentliche Rolle spielen. Parallel wird im Jugendalter meist mehr Zeit mit Gleichaltrigen (Peers) verbracht und gerade diese sozialen Beziehungen gewinnen an individueller Bedeutung und an motivationaler Relevanz. Zugleich steigen auch die Möglichkeiten für soziale Zurückweisungssituationen in diesem Kontext (Platt et al., 2013). Studien zur Feedbackverarbeitung konnten nachweisen, dass Jugendliche, relativ zu Kindern und Erwachsenen, verstärkt auf emotionale (Hare et al., 2008) und motivationale Reize (Somerville & Casey, 2010) reagieren. Zudem wurde gezeigt, dass Jugendliche besonders empfindsam für die Valenz (Zhuang et al., 2017) und den Informationsgehalt (Peters & Crone, 2017) von Feedback scheinen. Weiterhin weisen einige Forschungsarbeiten für positive sowie negative Feedbackvalenzen auf eine erhöhte neuronale Responsivität im Jugendalter hin (für Reviews siehe Foulkes & Blakemore, 2016; Somerville et al., 2010). Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass derzeit (v. a. zur negativen Feedbackverarbeitung) nur relativ wenige Studien vorliegen und der Befund einer erhöhten Responsivität auf Feedback nicht durchgängig nachgewiesen wurde (vgl. Spear, 2011). Ein Grund hierfür könnte sein, dass in den Studien unterschiedliche Paradigmen zur Untersuchung der Feedbackverarbeitung genutzt wurden (Lukie et al., 2014; Spear, 2011).

Die erwähnten Umbrüche im Erleben und Verhalten Jugendlicher und die damit häufig assoziierten neurobiologischen Veränderungsprozesse (z. B. präfrontale Reifung) wie auch die sozialen Herausforderungen in diesem Altersabschnitt (z. B. Anerkennung durch Peers) könnten mit dem Prävalenzanstieg von Depressionen im Jugendalter in Verbindung stehen (Cullen et al., 2009; Greimel, 2011). Gerade im Zusammenspiel mit Risikofaktoren, wie z. B. psychosozialen Stress, könnten Veränderungen in der Feedbackverarbeitung resultieren, die auch als Vulnerabilitätsfaktoren für eine Depression diskutiert werden (Kerestes et al., 2014; Auerbach et al., 2014). In einem Review hierzu (Davey et al., 2008) wird vermutet, dass insbesondere im Rahmen von präfrontalen Reifungsprozessen das Belohnungsstreben von Jugendlichen derart beeinflusst wird, dass vermehrt abstrakte, häufig zeitlich entfernte

Belohnungen (z. B. Zugehörigkeitsgefühle) verfolgt werden. Diese Belohnungen werden jedoch gemäß den Autoren in sozialen Situationen relativ leicht enttäuscht. In Folge könnte bei Jugendlichen mit einer erhöhten Vulnerabilität (z. B. genetische Veranlagung) die Belohnungsverarbeitung auf neuronaler Ebene anhaltend negativ beeinflusst werden und so das Risiko für eine Depression markant steigen (Davey et al., 2008).

Das Risiko an einer Depression zu erkranken differiert bei Mädchen und Jungen in der Adoleszenz deutlich. Ab dem Alter von 13 bis 16 Jahren ist das Erkrankungsrisiko etwa doppelt so hoch bei Mädchen im Vergleich zu Jungen (Hankin et al., 1998). Die Ursachen für diese im Kindesalter noch nicht bestehende Geschlechtsdiskrepanz (Hankin & Abramson, 2001) sind bisher nur unzureichend verstanden und werden in vielfältigen psychosozialen und physiologischen Einflussgrößen vermutet (Sagud et al., 2002). Von hoher Bedeutung könnten in diesem Kontext geschlechtsspezifische Merkmale in neuronalen Feedbackprozessen sein. Davey et al. (2008) legen beispielsweise dar, dass eine erhöhte Aufmerksamkeit für soziales Feedback bei Mädchen vorliegen könnte und somit ein möglicherweise höheres Risiko für das Erleben von sozialer Enttäuschung mit einem gesteigerten Depressionsrisiko bei weiblichen Jugendlichen einhergehen könnte.

Es gibt erste Hinweise, dass sich neuronale Mechanismen der Feedbackverarbeitung bei Mädchen und Jungen im Jugendalter unterscheiden. Neurophysiologische Befunde zur Verarbeitung monetärer Reize sind allerdings auf den Feedbackerhalt begrenzt und teils divergent. So zeigte eine EKP-Studie (Crowley et al., 2013) zur feedback negativity (FN) u. a., dass adoleszente Jungen auf monetäres Feedback mit höheren Amplituden als Mädchen reagierten. Interessanterweise wiesen jüngere relativ zu älteren Jugendlichen ebenfalls höhere FN-Amplituden auf. Höhere neurophysiologische Aktivierungen bei Jungen könnten daher gemäß den Autoren an einer relativ zu Mädchen verlangsamten Reifung von feedbackrelevanten Arealen liegen. Im Gegensatz zu Crowley et al. (2013) fanden Santesso et al. (2011) bei Mädchen höhere FN-Amplituden auf monetäres Feedback als bei Jungen. Die höheren FN-Amplituden bei Mädchen wurden im Rahmen der Studie mit einer mittels Fragebogenverfahren erfassten bei Mädchen relativ erhöhten Empfindlichkeit für Bestrafung (z. B. Verhaltenshemmung nach Bestrafungshinweisen) in Verbindung gebracht. Künftige Studien sind jedoch nötig, um die teils differierenden Befunde in diesem Bereich weiter einzuordnen (Crowley et al., 2013). Die Empfindlichkeit für soziales Feedback erscheint bei Mädchen gegenüber Jungen ebenfalls erhöht (Silk et al., 2012; Rose & Rudolph, 2016). Auf neurophysiologischer Ebene gibt es bisher jedoch kaum Studien zu Geschlechtsdifferenzen in sozialen Feedbackprozessen und es bleibt z. B. unklar, ob Unterschiede bei adoleszenten Jungen und Mädchen gleichermaßen für monetäres und soziales Feedback gelten (Ding et al., 2017). Umfassende Kenntnisse der physiologischen Feedbackprozesse im Jugendalter könnten allerdings zum besseren Verständnis geschlechtsspezifischer Prävalenzraten bei Depression wesentlich beitragen (Giedd, 2008; Paus et al., 2008). Künftige Studien bei Jugendlichen werden benötigt, die geschlechtsspezifische neuronale Korrelate positiver und negativer sowie monetärer und sozialer Feedbackprozesse während Antizipation und Erhalt detailliert charakterisieren und kontrastieren (Forbes & Dahl, 2005; Crowley et al., 2013).

### **Besonderheiten der Feedbackverarbeitung bei Depression**

Depressionen und das hier oftmals behandlungsresistente Kernmerkmal des Verlusts von Interesse oder Freude (Calabrese et al., 2014) stehen in Verbindung mit abweichenden belohnungsbezogenen Feedbackprozessen (Höflich et al., 2018; Stringaris et al., 2015). Eine verbesserte Kenntnis der Feedbackverarbeitung bei depressiven Jugendlichen könnte zentrale Hinweise zu den Ursachen von Anhedonie und in Folge wichtige Erkenntnisse für die Therapie der Erkrankung liefern (Forbes & Dahl, 2012). Überdies ist die diagnostische Erfassung der Depression im Jugendalter erschwert (Lewandowski et al., 2013). Dies wird u. a. damit begründet, dass Merkmale, wie Reizbarkeit und Stimmungsschwankungen, als markant für das Jugendalter gelten, was teilweise eine Abgrenzung zum klinischen Bild der Depression erschweren könnte (Thapar et al., 2012). Es ist daher von diagnostischem Interesse, bei Jugendlichen stabile Merkmale (Marker) der Depression zu identifizieren. Ein geeigneter Bereich, um solche Marker zu finden, könnten neurophysiologische Feedbackprozesse sein (Foti et al., 2014; Luking et al., 2016). Vor diesem Hintergrund überrascht es, dass bisher nur wenige Studien die neuronalen Grundlagen der Feedbackverarbeitung direkt bei an Depression erkrankten Jugendlichen untersuchten (Kerestes et al., 2014; Luking et al., 2016). Bildgebungsstudien bei Jugendlichen mit Depression zeigten bisher, weitgehend konform mit Erwachsenen, abweichende neuronale Aktivierungsmuster in Arealen (v. a. medialer präfrontaler Cortex und Striatum), die mit der Feedbackverarbeitung assoziiert sind (für Reviews siehe z. B. Forbes & Dahl, 2012; Kerestes et al., 2014). So fand sich in einer Bildgebungsstudie von Forbes et al. (2006) bei depressiven Jugendlichen eine überwiegend reduzierte Responsivität (u. a. im anterioren cingulären Cortex und im Nucleus caudatus) für positives Feedback. Für negatives Feedback liegen hierzu aktuell nur wenige und zudem teils inkonsistente Befunde vor (Luking et al., 2016). Ferner legen Kerestes et al. (2014) dar, dass unklar ist, inwiefern Befunde für beide Geschlechter gleichermaßen gelten.

Die aktuelle Forschungsliteratur zu neurophysiologischen Korrelaten positiver und negativer Feedbackverarbeitung beinhaltet bisher eine Studie bei Jugendlichen mit Major Depression (Webb et al., 2017). Diese EKP-Studie untersuchte die RewP als eine zentrale Komponente des Feedbackerhalts. Die Differenzwelle zeigte sich bei Depression gesteigert. Mittels Zeitfrequenzanalysen wurde dies auf eine erhöhte Responsivität für negatives Feedback zurückgeführt. Der Befund legt nahe, dass die RewP als neuronales Korrelat einer Überempfindlichkeit für negatives Feedback bei depressiven Jugendlichen geeignet ist. Für ein detailliertes Verständnis der Feedbackverarbeitung bei Jugendlichen mit einer Depression ist es aber relevant, auch die Phase der Feedbackantizipation zu untersuchen.

Bei nicht-depressiv Erkrankten und Risiko-Populationen (z. B. Kinder eines depressiven Elternteils) im Jugendalter wird eine höhere depressive Symptomatik mit einer reduzierten RewP als möglichem Vulnerabilitätsmarker (Kujawa & Burkhouse, 2017; Nelson et al., 2016) und Prädiktor (Bress et al., 2013, 2015) für künftige Depressionen assoziiert. Die niedrigere RewP wird auf geringere Amplitudendifferenzen zwischen Feedbackvalenzen (z. B. Nelson et al., 2016) oder kleinere Amplituden bei Belohnung (z. B. Bress et al., 2012) zurückgeführt. Befunde bei Jugendlichen ohne manifeste Depression sind jedoch nicht uneingeschränkt auf

Jugendliche mit Depression anwendbar (Bress et al., 2012), da sich EKPs beim Übergang subklinischer zu klinischer Phasen verändern könnten (Bress et al., 2015) und Symptomatik hier quantitativ und teils qualitativ differiert (Novak et al., 2016; Coyne & Whiffen, 1995).

Während es bei Jugendlichen mit Major Depression kaum neurophysiologische Studien zu veränderten Feedbackprozessen gibt, wurden jene Prozesse bei Erwachsenen mit Major Depression bereits häufiger elektrophysiologisch untersucht. Eine bei Depression reduzierte RewP legt hier (Foti et al., 2014; Liu et al., 2014), wie bei Erwachsenen mit subklinischer Symptomatik ebenfalls (Foti & Hajcak, 2009; aber: Santesso et al., 2012), eine verminderte Sensitivität für Belohnungen nahe. Da Depressionen im Jugendalter in neurobiologischen Korrelaten, Vulnerabilitätsfaktoren und Symptomatologie von depressiven Erkrankungen mit Beginn im Erwachsenenalter differieren können (Goodyer & Cooper, 1993; Fernando et al., 2011; Jaffee et al., 2002; Kaufman et al., 2001), sind Erwachsenenstudien aber nur bedingt auf Jugendliche übertragbar. Neuronale Reifungsprozesse betreffen Netzwerke, die für die Depression (Rao & Chen, 2009) und für Feedbackprozesse (Rubia, 2013) zentral scheinen. Hierdurch könnten die Art und Weise (Hulvershorn et al., 2011) und das Ausmaß (Forbes & Dahl, 2012; Keren et al., 2018) einer Verbindung zwischen Feedbackverarbeitung und Depression altersabhängig differieren. Depressive Erwachsene haben zudem meist längere Krankheits- und Interventionshistorien (Houston et al., 2004), was Befunde verzerren könnte und die Relevanz von Studien im Jugendalter weiter betont (Hulvershorn et al., 2011).

Da spezifisch für die Antizipation und den Erhalt veränderte Feedbackprozesse bei der Depression besonders stark im Jugendalter hervortreten könnten (Forbes & Dahl, 2012), sind neurophysiologische Erkenntnisse in diesem Bereich von zentralem Interesse. Jedoch blieben EKP-Studien bei Major Depression bisher auf die Phase des Erhalts begrenzt (z. B. Webb et al., 2017; Foti et al., 2014; Liu et al., 2014). Feedback wurde dabei im Rahmen von Glücksspielaufgaben zufällig präsentiert. Da bei Depressionen Auffälligkeiten in der Nutzung von Leistungsfeedback zur Verhaltenssteuerung (Henriques & Davidson, 2000) und in der eigenen Leistungseinschätzung (Dunn et al., 2009) bestehen, könnte gerade auch leistungs-kontingentes Feedback von hoher Relevanz sein (z. B. Novak et al., 2016; Knutson et al., 2008). Befunde hierzu differieren möglicherweise von einem zufälligen Feedbackerhalt (Foti & Hajcak, 2009; Murphy et al., 2003). EKP-Studien bei Depression, die leistungsgebundene Feedbackprozesse der Antizipation und des Erhalts untersuchten, stehen aber gänzlich aus.

Neben experimentellen Ansätzen könnten Fragebogenverfahren zu individuellen Unterschieden im Umgang mit Feedback im Jugendalter dazu beitragen, Kenntnislücken zur Feedbackverarbeitung bei depressiv Erkrankten zu schließen. Im Jugendalter hat besonders soziale Information eine erhöhte Alltagsrelevanz (Platt et al., 2013). Soziale Zurückweisung resultiert bei Jugendlichen in gedrückter Stimmung (Sebastian et al., 2010) und gerade bei depressiven Personen wird eine höhere Reaktivität für Zurückweisung angenommen (Silk et al., 2014). In einer aktuellen Fragebogenstudie (Bondü et al., 2017) konnte gezeigt werden, dass (subklinisch) erhöhte depressive Symptome im Jugendalter mit einer gesteigerten Zurückweisungsempfindlichkeit assoziiert sind. Unklar ist derzeit aber, ob auch Jugendliche mit manifester Depression eine erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit zeigen. Befunde zu

einer gesteigerten Zurückweisungsempfindlichkeit bei Erwachsenen mit Depression liegen bereits vor (Beeney et al., 2014). Da diese altersabhängige Varianz zeigt (Sebastian et al., 2010), sollte ein Übertrag auf Jugendliche mit einer Depression jedoch geprüft werden.

## Übersicht zu den publizierten Fachartikeln

### Fragestellungen und Befundzusammenstellung

Die vorliegende kumulative Dissertation umfasst drei Studien, die komplementäre Aspekte der Feedbackverarbeitung bei Jugendlichen mit und ohne Depression untersuchten. Im Kontext des skizzierten Forschungsstands hat die Dissertation zum Ziel, Feedbackprozesse näher zu charakterisieren, die mit der Depression im Jugendalter in Verbindung stehen könnten. Die Studienbefunde könnten so die derzeit rare Befundlage in diesem Bereich erweitern, zu einem verbesserten Verständnis von Pathogenese und Symptomatik der Erkrankung beitragen sowie relevante Ansatzpunkte für Prävention und Intervention liefern (Keren et al., 2018). Zu diesem Zweck wurde (1) erstmals im Rahmen eines einheitlichen Paradigmas auf neurophysiologischer Ebene untersucht (**Studie 1**), wie Jugendliche mit Major Depression positives und negatives Feedback bei der Antizipation und beim Erhalt verarbeiten. Diese Studie erweitert bisherige EKP-Literatur in diesem Bereich, indem in der Zielgruppe erstmals neurophysiologische Korrelate leistungsgebundener Feedbackprozesse spezifisch sowohl bei der Antizipation und beim Erhalt untersucht wurden. In einer weiteren Studie wurde (2) der Frage nachgegangen (**Studie 2**), inwieweit sich geschlechtsabhängig Unterschiede in neurophysiologischen Korrelaten von Feedbackantizipation und -erhalt bei gesunden Jugendlichen zeigen. Diese Studie erweitert den Forschungsstand hierzu, indem neurophysiologische Grundlagen leistungsgebundener Feedbackprozesse bei gesunden Mädchen und Jungen für die Phase von Antizipation und Erhalt untersucht wurden. Zudem erfolgte eine Erweiterung der Analyse monetären um soziales Feedback, um Hinweisen Rechnung zu tragen, dass Geschlechtseinflüsse hier relevant zum Tragen kommen könnten (Silk et al., 2014). Um leistungsgebundene Feedbackprozesse auf neurophysiologischer Ebene umfassend zu analysieren, fand die Incentive Delay Task einheitlich in Studie 1 und 2 Verwendung, wodurch die Vergleichbarkeit beider Studienergebnisse wesentlich unterstützt werden sollte. In einer dritten Studie wurde mittels Fragebogenverfahren (3) beleuchtet (**Studie 3**), ob Jugendliche mit einer Major Depression eine erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit aufweisen. Zudem wurde der Umgang mit negativem sozialen Feedback bei depressiven Jugendlichen näher charakterisiert, indem auch emotionale Reaktionen und Handlungsintentionen nach Zurückweisungssituationen erfasst wurden. Hierfür wurde eine validierte deutsche Version des Child Rejection Sensitivity Questionnaire (Fragebogen zur Zurückweisungsempfindlichkeit für Kinder und Jugendliche; FZE-K; Rosenbach, 2013) erstmals bei Jugendlichen mit einer Major Depression eingesetzt.

Auf Basis bisheriger Befunde bei depressiven Erwachsenen (Liu et al., 2014; Foti et al., 2014; Pizzagalli et al., 2009) erwarteten wir in **Studie 1** (Landes et al., 2018) verminderte neurophysiologische Aktivierungen (reduzierte EKP-Amplituden und/oder verzögerte Latenz)

auf positives Feedback bei depressiven Jugendlichen. Die Ergebnisse zeigten deutliche Auffälligkeiten bei Jugendlichen mit Major Depression (relativ zu gesunden Jugendlichen) in neurophysiologischen Korrelaten der Feedbackverarbeitung. Bei depressiven Jugendlichen zeigte sich erwartungskonform eine verlängerte cP3-Latenz auf monetäre Belohnungsreize. Dies kann als eine verzögerte Aufmerksamkeitszuwendung (Polich, 2003, 2007) auf belohnungsrelevante Hinweise interpretiert werden und entspricht dem klinischen Eindruck bei depressiven Jugendlichen, welcher eine reduzierte Motivation zum Aufsuchen von Belohnungen nahelegt (Forbes & Dahl, 2012). Beim Belohnungserhalt zeigten sich dagegen spezifisch bei depressiven (und nicht bei gesunden) Jugendlichen relativ kürzere fP3-Latenzen im Belohnungs- versus Bestrafungskontext. Dies indiziert eine relativ raschere Aufmerksamkeitszuwendung auf belohnungsrelevantes Feedback bei Depression. Häufiges Leistungsfeedback im Belohnungskontext könnte aus negativen Grundtendenzen, welche die Depression insbesondere bei einem Beginn vor dem Erwachsenenalter kennzeichnen (Zisook et al., 2007), hervorstechen und bevorzugt verarbeitet werden. Die RewP konnte bei depressiven Jugendlichen evoziert werden und differierte von gesunden Jugendlichen nicht.

Auf Grundlage vorheriger Befunde (Pagliaccio et al., 2016; Spreckelmeyer et al., 2009) erwarteten wir in **Studie 2** (Greimel et al., 2018) erhöhte Amplituden neurophysiologischer Korrelate der Antizipation sozialen Feedbacks bei Mädchen (versus Jungen). Respektive wurden für monetäre Hinweisreize relativ erhöhte EKP-Amplituden bei Jungen erwartet. Wir nahmen zudem bei Jungen relativ geringere neurophysiologische Aktivierungen, in Form kleinerer EKP-Amplituden, auf bestrafungsrelevante Hinweisreize an. Die Studienergebnisse zeigten deutliche Geschlechtsdifferenzen in neurophysiologischen Feedbackprozessen für gesunde Jugendliche. Erwartungskonform fand sich bei Jungen eine relativ geringere SPN bei der Antizipation von sozialem, bestrafungsbezogenem Feedback. Dies weist auf eine verminderte Salienz für negative soziale Reize hin (Kotani et al., 2015). Beim Erhalt wiesen Jungen (nicht Mädchen) eine höhere fP3 auf monetäres versus soziales Feedback auf. Dies legt nahe, dass Jungen relativ mehr Aufmerksamkeit auf monetäre Reize legen (Polich, 2003, 2007). Überdies zeigte sich nur bei Jungen eine geringere fP3 im Bestrafungs- versus Belohnungskontext, was als geringere Aufmerksamkeitszuteilung auf bestrafungsbezogenes Feedback interpretiert werden kann. Anders als bei Mädchen, zeigen die Befunde somit relativ reduzierte neurophysiologische Reaktionen bei der Antizipation und dem Erhalt von negativen sozialen Reizen bei Jungen. Dies ist konsistent zu Fragebogenstudien, die auf eine geringere Sensitivität für Bestrafung bei Jungen hinweisen (Pagliaccio et al., 2016).

Ausgehend von bisherigen Befunden erwarteten wir in **Studie 3** (Feldmann et al., 2017) für depressive (versus gesunde) Jugendliche eine erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit (Beeney et al., 2014) sowie emotional stärkere Reaktionen (Silk et al., 2014) und höhere Selbstattribution (Gladstone & Kaslow, 1995) nach Zurückweisung. Die Ergebnisse zeigten erwartungskonform eine relativ höhere Zurückweisungsempfindlichkeit sowie stärkere Selbstattribution und Resignation nach fiktiven Zurückweisungssituationen bei depressiven Jugendlichen. Die erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit bei Jugendlichen mit Depression ist konsistent mit Befunden bei subklinischer depressiver Symptomatik (Bondü et al., 2017).

### **Zusammenfassende Diskussion und Ausblick**

Die gewählte Methodik (Studie 1 & 2: Incentive Delay Task (IDT) mit EKP-Messung; Studie 3: Fragebogen FZE-K) erwies sich als für die Fragestellungen der Studien geeignet. Im Rahmen der zwei neurophysiologischen Studien konnten so geschlechts- und depressions-spezifische Verarbeitungsmuster für konzeptionell unterscheidbare Feedbackphasen (Keren et al., 2018) ermittelt werden. Überdies konnte in einer weiteren Studie eine bei Depression erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit mittels Fragebogenverfahren festgestellt werden. In Studie 1 zeigten sich Hinweise auf antizipatorisch reduzierte, bei Erhalt aber relativ erhöhte Aufmerksamkeitszuwendungen auf belohnungsrelevante Reize bei einer Depression. Dies entspricht der aktuellen Auffassung, dass Belohnungsprozesse bei einer Depression nicht generell reduziert sind, sondern je nach Phase der Feedbackverarbeitung differieren können (für Reviews siehe Höflich et al., 2018; Keren et al., 2018). Dabei stehen unsere Befunde bei der Antizipation in Einklang mit dem klinischen Bild depressiver Jugendlicher, das v. a. eine geringe motivationale Tendenz für Belohnung betont (Forbes & Dahl, 2012). Unter Einbezug bisheriger Studien bei Erwachsenen (Keren et al., 2018), kann davon ausgegangen werden, dass sich die verminderte Belohnungsantizipation bei depressiven Jugendlichen über den Krankheitsverlauf als stabil erweist. Andererseits können unsere Befunde zum Erhalt von Feedback auf Hinweise Bezug nehmen, dass sich reduzierte Belohnungsprozesse bei der Depression auf Ebene des Erhalts teils weniger äußern (für Reviews siehe Höflich et al., 2018; Keren et al., 2018). Unsere Befunde indizieren, dass depressive Jugendliche leistungsgebundenes Feedback im Belohnungskontext relativ bevorzugt verarbeiten. Der Erhalt von positivem Feedback bei Depression ist im Alltag u. a. durch geringe motivationale Tendenzen für Belohnungen (Forbes & Dahl, 2012) sowie auf Grund von Schulproblemen (Schulte-Körne, 2016) allerdings möglicherweise langfristig reduziert. Belohnungsbezogenes Leistungsfeedback könnte somit ein markantes Ereignis für depressive Jugendliche sein, dem schneller Aufmerksamkeit zugeteilt wird. So lässt sich für den Erhalt von Belohnung vermuten, dass gerade bei depressiven Jugendlichen (versus Erwachsene; Liu et al., 2014) eine sensible Phase besteht, die relevante Ansatzpunkte für therapeutische Interventionen bietet. Künftige Studien bei depressiven Jugendlichen müssten zeigen, ob Maßnahmen wie eine hochfrequente Darbietung von positivem Leistungsfeedback, eine Normalisierung von Feedbackprozessen fördern und auf längere Sicht das Krankheitsbild bessern können.

Ein weiterer aussichtsreicher Ansatzpunkt für therapeutische Interventionen könnte sich aus der erhöhten Zurückweisungsempfindlichkeit bei depressiven Jugendlichen und dem veränderten Umgang mit Zurückweisung in Form von Selbstattribution und Resignation ergeben (Studie 3). So könnte es sich als förderlich erweisen, depressiven Jugendlichen adaptive Strategien zur Emotionsregulation und einen geeigneten Umgang für negatives soziales Feedback zu vermitteln. Hierbei könnte es u. a. vielversprechend sein zu trainieren, soziale Feedbacksituationen auf selbstdienliche Weise neu zu bewerten (z. B. nicht auf die eigene Person, sondern die Situation bezogen), um psychosozialen Stress (Gross & John, 2003) und die Empfindlichkeit für Zurückweisung zu mindern. Möglicherweise werden in Folge die sogenannte stress-induzierte Anhedonie und assoziierte Belohnungsprozesse bei

Depressionen günstig beeinflusst (Luking et al., 2016). Ferner werden Selbstattribution und Resignation bei negativem Feedback mit geringen Fähigkeiten, Aktivitäten zielgerichtet zu beginnen (sog. Lageorientierung; Diefendorff et al., 2000), assoziiert (Stiensmeier-Pelster, 1988). Somit könnte es sich bei depressiven Jugendlichen auch auf die Handlungsinitiative und das Aufsuchen von Belohnungen (vgl. Studie 1) positiv auswirken, wenn diese befähigt werden, auf Zurückweisung mit weniger Resignation und Selbstattribution zu reagieren. Künftige Studien sind nötig, um die hier skizzierten Mechanismen nachzuweisen und zu zeigen, ob diese durch systematische Interventionen gezielt unterbrochen werden können. Auf Basis bisheriger Erwachsenenstudien (Beeney et al., 2014) kann vermutet werden, dass eine erhöhte Zurückweisungsempfindlichkeit ohne Intervention über den Krankheitsverlauf bestehen bleibt und diesen weiterhin negativ beeinflusst (Posternak & Zimmermann, 2001).

Mögliche präventive Maßnahmen zur Depression im Jugendalter könnten sich aus den Befunden von Studie 2 ableiten. Hier wurde bei Jungen eine relative Hyporesponsivität für negative, insbesondere soziale Reize ersichtlich. Mädchen hingegen zeigten für negatives und/oder soziales Feedback keine relativ reduzierten neurophysiologischen Reizantworten. Negatives soziales Feedback wird als eine zentrale Ursache für psychosozialen Stress in der Jugend diskutiert, der wiederum als wichtiger Vulnerabilitätsfaktor für die Depression im Jugendalter angenommen wird (Slavich & Irwin, 2014; Platt et al., 2013). Gesteigerte Stresslevel werden gerade bei Mädchen mit einem erhöhten Depressionsrisiko assoziiert (Thapar et al., 2012). Unser Befund, dass Mädchen, anders als Jungen, für negative soziale Reize keine relativ geringere Responsivität aufwiesen, könnte zur erhöhten Vulnerabilität für Depression bei weiblichen (versus männlichen) Jugendlichen beitragen. Fragebogenstudien stützen bisher die Annahme, dass eine höhere Empfindlichkeit für negative soziale Reize im Jugendalter einen Vulnerabilitätsfaktor für Depressionen darstellen könnte (Bondü et al., 2017). So konnten psychosoziale Stressoren die Entwicklung depressiver Symptome gerade bei Jugendlichen mit hoher Zurückweisungsempfindlichkeit vorhersagen (Chango et al., 2012). Künftige Studien sollten zeigen, ob es durch präventive Maßnahmen gelingen kann, gefährdete Mädchen (z. B. mit einem depressivem Elternteil) im Umgang mit negativem Feedback zu schulen und dadurch deren Resilienz gegenüber einer Depression zu erhöhen.

Eine Studienlimitation ist, dass die Spezifität der Befunde für depressive Jugendliche offen bleibt, da Vergleiche mit anderen klinischen Gruppen ausblieben. Zudem wurden in den Patientenkollektiven komorbide Diagnosen, die mit abnormen Feedbackprozessen einhergehen (z. B. soziale Phobie; Guyer et al., 2012), ausgeschlossen. Dies hatte zum Ziel, dass bei der Depression veränderte Prozesse nicht auf jene Komorbiditäten zurückzuführen sind. Die Generalisierbarkeit der Befunde auf depressive Jugendliche mit Komorbidität ist daher künftig zu testen. Ferner sollten künftige Studien die Übertragbarkeit der Befunde auf weitere Altersgruppen (Kinder, Erwachsene) prüfen. Ein Bezug zur Lebenswelt Jugendlicher wurde u. a. durch die Vorgabe konkreter Zurückweisungssituationen im Rahmen des FZE-K sowie den Einsatz von leistungsgebundenem und sozialem Feedback im Rahmen der IDT angestrebt. Ob eine bewegte statt statische Reizdarbietung die Alltagsgültigkeit (Parsons, 2015) der EKP-Befunde im Jugendalter steigert, ist künftig zu evaluieren. Zusammengefasst



kann die vorliegende Dissertation unter Einbezug der drei publizierten Fachartikel bisherige Befunde zur Feedbackverarbeitung Jugendlicher mit und ohne Depression ausbauen. Durch Ergebnisintegration konnten für die klinisch relevante Population depressiver Jugendlicher aussichtsreiche Ansatzpunkte für präventive und therapeutische Interventionen in Bezug auf die Verarbeitung von leistungsgebundenem wie sozialem Feedback gewonnen werden. Eine frühzeitige Behandlung ist gerade aufgrund hoher Rückfallraten (Thapar et al., 2012) zentral.

## **Studienablauf und Darstellung des eigenen Beitrags**

Die vorliegende Dissertation enthält drei Publikationen, welche Teil eines umfassenden Forschungsprojekts zur Belohnungsverarbeitung bei der Depression im Jugendalter sind, das Erhebungen klinischer, entwicklungs- und geschlechtsspezifischer Daten mittels EKP-Messung, Verhaltensmessung und Fragebogen umfasst (vgl. Tabelle 1, S. 19). Das Projekt „Neuronale Mechanismen sozialer Belohnung bei Jugendlichen mit depressiver Erkrankung: ein entwicklungspsychiatrischer Ansatz“ wurde vom Förderprogramm für Forschung und Lehre der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München gefördert. Ein positives Votum auf ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit wurde durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU München erteilt. Das Projekt sowie das Promotionsvorhaben der Autorin wurde während der gesamten Laufzeit von Prof. Dr. G. Schulte-Körne supervidiert, die Projektleitung lag bei PD Dr. E. Greimel. Die Autorin stieg in das Studienvorhaben zu Projektbeginn als wissenschaftliche Mitarbeiterin federführend ein (10/12) und war von Beginn an eigenständig und maßgeblich mit der Ausarbeitung und Ausgestaltung von Konzeption, Hypothesen, Materialzusammenstellung, Methodik und Test-Setting betraut. Die Paradigma-Programmierung (mittels E-Prime) erfolgte selbstständig durch die Autorin, eingeschlossen die Programmierung der Online Adjustierung. Die Autorin erstellte zudem eigens für die durchgeführten EKP-Studien (Studie 1 & 2) die monetären Feedbackstimuli. Die Projekt-Pilotierung und Rekrutierung der klinischen Probanden in der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik und Psychiatrie (KJP) der LMU München sowie die Rekrutierung gesunder Probanden für eine Kontrollstichprobe und im Rahmen einer Geschlechter- und Entwicklungsstudie erfolgte ebenfalls eigenständig und federführend durch die Autorin. Die Datenerhebung wurde von der Autorin maßgeblich und selbstständig organisiert und durchgeführt und umfasste Studieneinführung, diagnostisches Interview (Kinder-DIPS; Schneider et al., 2009), Intelligenztestung (Cultural Fair Intelligence Test - 20R; Weiss, 2006) und Fragebogenerhebungen sowie die Reaktionszeitaufgabe mit EKP-Messung. Nach detaillierter Einarbeitung in Studiendesign und Rekrutierung durch die Autorin, waren unterstützend zwei studentische Hilfskräfte und die Studienassistentinnen der KJP-Forschungsabteilung in die Rekrutierung und Datenerhebung eingebunden. Die Datenverarbeitung erfolgte maßgeblich und selbstständig durch die Autorin, die sich in hierfür benötigte Programme (z. B. BrainVision Analyzer; IBM SPSS Statistics) detailliert einarbeitete. Eine wissenschaftliche Hilfskraft unterstützte die Datenverarbeitung (v. a. EKPs gesunder Probanden; maßgeblich insbesondere für Studie 2).

Aus dem Projekt resultieren bis dato drei Veröffentlichungen (Supervision: PD Dr. E. Greimel und Prof. Dr. G. Schulte-Körne), welche die Grundlage der kumulativen Dissertation bilden. Die Analyse, Interpretation und Publikation der bei Depression (inkl. Kontrollgruppe) erhobenen EKP-Daten erfolgte eigenständig durch die Autorin unter Supervision (s.o.) und bei Einbezug von Anregungen der Koautoren (Studie 1: Landes et al., 2018). Die Analyse, Interpretation und Publikation der erhobenen EKP-Daten zu Geschlechtsunterschieden erfolgte von den beiden Erstautoren der Studie in enger Zusammenarbeit mit der Autorin (Studie 2: Greimel et al., 2018). So war die Autorin, neben Paradigma-Erstellung, Erhebung und Verarbeitung einer Vielzahl der enthaltenen Datensätze (s.o.), kontinuierlich in die Konzeption, Analyse und Interpretation der Daten im Rahmen der Publikation eingebunden. Auch die Auswertung, Interpretation und Publikation der zur Zurückweisungsempfindlichkeit bei depressiven Jugendlichen (inkl. Kontrollgruppe) erhobenen Fragebogendaten erfolgte in enger Zusammenarbeit der Erstautorin der Studie mit der Autorin (Studie 3: Feldmann et al., 2017). Neben Datenerhebung und -eingabe (s.o.), war die Autorin somit kontinuierlich in die Manuskripterstellung eingebunden (v. a. zu Methodik, Dateninterpretation und klinischem Kontext). Eine weitere Publikation von Entwicklungsdaten des Projekts ist in Vorbereitung (Landes, Feldmann et al., in Vorbereitung), jedoch nicht Bestandteil dieser Dissertation.

Tabelle 1: Übersicht über die einzelnen Projektabschnitte und Aufgabenkompetenzen

<b>Forschungsprojekt zur Belohnungsverarbeitung bei Depression</b>	<b>federführend</b>	<b>unterstützend</b>	<b>supervidierend</b>	<b>Zentrale Elemente und Meilensteine</b>
<b>Idee, Konzept, Antrag auf ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit und Fördermittel</b>	PD Dr. E. Greimel	Dr. G. Kohls	Prof. Dr. Schulte-Körne	Positives Votum der Ethikkommission (07/12); Förderprogramm für Forschung und Lehre der Medizinischen Fakultät der LMU (08/12-08/14)
<b>Ausarbeitung und Ausgestaltung, Paradigma-Programmierung und Pilotierung</b>	Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	Dr. G. Kohls (Design); Dipl.-Phys. J. Bartling (technische Expertise)	Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel	Erstellung des Designs und Stimulus-Materials (u.a. mittels Adobe Photoshop); Programmierung des Paradigmas (mittels E-Prime); Pilotierung (10 Probanden, 01/13)
<b>Rekrutierung der klinischen Probanden (13-18 Jahre), der gesunden Kontrollen (13-18 Jahre), der Entwicklungs- (8-19 Jahre) und Geschlechterstichprobe (12-18 Jahren)</b>	Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	Nach Einarbeitung durch Autorin: studentische Hilfskräfte <sup>1</sup> ; Studienassistentinnen <sup>2</sup>	Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel	Projektinformation (mündlich/schriftlich) zielgerichtet an interessierte Kinder/Jugendliche/Eltern; Mitentwicklung von Rekrutierungs-Flyern; Datenbankpflege; Projektupdates und -präsentationen zur Förderung der Zusammenarbeit mit klinischem Fachpersonal
<b>Datenerhebung – Organisation und Durchführung</b>	Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	Nach Einarbeitung durch Autorin: studentische Hilfskräfte <sup>1</sup> ; Studienassistentinnen <sup>2</sup>	Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel	Initiale Testung von 147 Probanden; Abschluss der Testungen (07/14)
<b>Datenexport und -eingabe</b>	Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	Nach Einarbeitung durch Autorin: studentische Hilfskräfte <sup>1</sup> ; Studienassistentinnen <sup>2</sup>	Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel	Erstellung geeigneter PC-basierter Auswertungsmasken (in Excel); Berechnung behavioraler Daten/Fragebogen-Kennwerte; Erstellung des Haupt-Datenblattes (in IBM SPSS Statistics)
<b>Datenverarbeitung</b>	Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	Wissenschaftliche Hilfskraft S. Bakos ( <b>v.a. Studie 2</b> & in Absprache mit der Autorin); Dipl.-Phys. J. Bartling (technische Expertise)	Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel	Datenvorverarbeitung (z. B. Ausschluss von Artefakten im Elektroenzephalogramm (EEG)); Weiterverarbeitung der Daten (mittels BrainVision Analyzer); Präsentationen im Forschungsteam bei spezifischen Verarbeitungsetappen zum kollegialen, wissenschaftlichen Austausch
<b>Datenauswertung und Publikation</b>	<b>Studie 1:</b> Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b> <b>Studie 2&amp;3:</b> PD Dr. E. Greimel & S. Bakos; L. Feldmann	<b>Studie 2&amp;3:</b> Wesentliche Mitarbeit und relevanter Input: Autorin Dipl.-Psych. <b>Iris Landes</b>	<b>Studie 1,2,3:</b> Prof. Dr. Schulte-Körne; PD Dr. E. Greimel <b>Studie 2:</b> PD Dr. T. Töllner	Literaturrecherche; Datenauswertung (EEG behaviorale Daten, Fragebogen); <b>Bestandteile der kumulativen Dissertation:</b> 05/17: Veröffentlichung Studie 3: <b>Feldmann et al., 2017</b> 01/18: Veröffentlichung Studie 1: <b>Landes et al., 2018</b> 02/18: Veröffentlichung Studie 2: <b>Greimel et al., 2018</b>

<sup>1</sup> Namentlich: J. Stiegert, S. Bakos

<sup>2</sup> Namentlich: C. Silberbauer, P. Wagenbüchler, B. Krüsselmann

## Literatur

- American Psychiatric Association (APA). (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition (DSM-V)*. Arlington, Virginia, USA: American Psychiatric Association.
- Auerbach, R. P., Admon, R. & Pizzagalli, D. A. (2014). Adolescent depression: stress and reward dysfunction. *Harvard Review of Psychiatry*, 22(3), 139-148.
- Banaschewski, T. & Brandeis, D. (2007). Annotation: what electrical brain activity tells us about brain function that other techniques cannot tell us - a child psychiatric perspective. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 48(5), 415-435.
- Beeney, J. E., Levy, K. N., Gatzke-Kopp, L. M. & Hallquist, M. N. (2014). EEG asymmetry in borderline personality disorder and depression following rejection. *Personality Disorders: Theory, Research, and Treatment*, 5(2), 178–185.
- Bondü, R., Sahyazici-Knaak, F. & Esser, G. (2017). Long-term associations of justice sensitivity, rejection sensitivity, and depressive symptoms in children and adolescents. *Frontiers in Psychology*. 8, 1446.
- Bress, J. N., Foti, D., Kotov, R., Klein, D. N. & Hajcak, G. (2013). Blunted neural response to rewards prospectively predicts depression in adolescent girls. *Psychophysiology*, 50(1), 74–81.
- Bress, J. N., Meyer, A. & Proudfit, G. H. (2015). The stability of the feedback negativity and its relationship with depression during childhood and adolescence. *Development and Psychopathology*, 27(4pt1), 1285–1294.
- Bress, J. N., Smith, E., Foti, D., Klein, D. N. & Hajcak, G., (2012). Neural response to reward and depressive symptoms in late childhood to early adolescence. *Biological Psychology*, 89(1), 156–162.
- Broyd, S. J., Richards, H. J., Helps, S. K., Chronaki, G., Bamford, S. & Sonuga-Barke, E. J. (2012). An electrophysiological monetary incentive delay (e-MID) task: a way to decompose the different components of neural response to positive and negative monetary reinforcement. *Journal of Neuroscience Methods*, 209(1), 40–49.
- Calabrese, J. R., Fava, M., Garibaldi, G., Grunze, H., Krystal, A. D., Laughren, T., Macfadden, W., Marin, R., Nierenberg, A. A. & Tohen, M. (2014). Methodological approaches and magnitude of the clinical unmet need associated with amotivation in mood disorders. *Journal of Affective Disorders*, 168, 439-451.
- Caouette, J. D. & Guyer, A. E. (2016) Cognitive distortions mediate depression and affective response to social acceptance and rejection. *Journal of Affective Disorders*, 190, 792-799.
- Center for Behavioral Health Statistics and Quality. (2017). *2016 National Survey on Drug Use and Health: Detailed Tables*. Rockville, Maryland, USA: Substance Abuse and Mental Health Services Administration.

- Chango, J. M., McElhane, K. B., Allen, J. P., Schad, M. M. & Marston, E. (2012). Relational stressors and depressive symptoms in late adolescence: Rejection sensitivity as a vulnerability. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *40*(3), 369–379.
- Coyne, J. C. & Whiffen, V. E. (1995). Issues in personality as diathesis for depression: the case of sociotropy-dependency and autonomy-self-criticism. *Psychological Bulletin*, *118*(3), 358–378.
- Crowley, M. J., Wu, J., Hommer, R. E., South, M., Molfese, P. J., Fearon, R. M. & Mayes, L. C. (2013). A developmental study of the feedback-related negativity from 10-17 years: Age and sex effects for reward versus non-reward. *Developmental Neuropsychology*, *38*(8), 595–612.
- Cullen, K., Klimes-Dougan, B., Kumra, S., Schulz, S. C. (2009). Pediatric major depressive disorder: neurobiology and implications for early intervention. *Early Intervention in Psychiatry*, *3*(3), 178-188.
- Davey, C. G., Yucel, M. & Allen, N. B. (2008). The emergence of depression in adolescence: development of the prefrontal cortex and the representation of reward. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *32*(1), 1–19.
- Diefendorff, J. M., Hall, R. J., Lord, R. G., Streat, M. L. (2000). Action-state orientation: construct validity of a revised measure and its relationship to work-related variables. *Journal of Applied Psychology*, *85*(2), 250-263.
- Dillon, D. G., Holmes, A. J., Jahn, A. L., Bogdan, R., Wald, L. L., Pizzagalli, D. A. (2008). Dissociation of neural regions associated with anticipatory versus consummatory phases of incentive processing. *Psychophysiology*, *45*(1), 36-49.
- Ding, Y., Wang, E., Zou, Y., Song, Y., Xiao, X., Huang, W. & Li, Y. (2017). Gender differences in reward and punishment for monetary and social feedback in children: An ERP study. *PLoS ONE* *12*(3), e0174100.
- Downey, G., Feldman, S., Khuri, J. & Friedman, S. (1994). Maltreatment and childhood depression. In: W. M. Reynolds & H. F. Johnston (Hrsg.), *Handbook of depression in children and adolescents* (S. 481–508). New York, New York, USA: Springer Science and Business Media.
- Downey, G., Lebolt, A., Rincón, C. & Freitas, A. L. (1998). Rejection sensitivity and children's interpersonal difficulties. *Child Development*, *69*(4), 1074–1091.
- Dunn, B. D., Stefanovitch, I., Buchan, K., Lawrence, A. D. & Dalgleish, T. (2009). A reduction in positive self-judgment bias is uniquely related to the anhedonic symptoms of depression. *Behaviour research and therapy*, *47*(5), 374-381.
- Ernst, M., Pine, D. & Hardin, M. (2006). Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence. *Psychological Medicine*, *36*(3), 299-312.
- Feldmann, L., Landes, I., Schulte-Körne, G. & Greimel, E. (2017). Zurückweisungs-empfindlichkeit bei Jugendlichen mit Depression. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, *46*(2), 143-153.

- Fergusson, D. M. & Woodward, L. J. (2002). Mental health, educational, and social role outcomes of adolescents with depression. *Archives of General Psychiatry*, *59*(5), 225-231.
- Fernando, K., Carter, J. D., Frampton, C. M. A., Luty, S. E., McKenzie, J., Mulder, R. T. & Joyce, P. R. (2011). Childhood-, teenage-, and adult-onset depression: diagnostic and individual characteristics in a clinical sample. *Comprehensive Psychiatry*, *52*(6), 623–629.
- Fombonne, E., Wostear, G., Cooper, V., Harrington, R. & Rutter, M. (2001). The Maudsley long-term follow-up of child and adolescent depression: I. Psychiatric outcomes in adulthood. *British Journal of Psychiatry*, *179*(3), 210-217.
- Forbes, E. E. & Dahl, R. E. (2005). Neural systems of positive affect: relevance to understanding child and adolescent depression? *Development and Psychopathology*, *17*(3), 827–850.
- Forbes, E. E. & Dahl, R. E. (2012). Research Review: altered reward function in adolescent depression: what, when and how? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *53*(1), 3–15.
- Foti, D., Carlson, J. M., Sauder, C. L. & Proudfit, G. H. (2014). Reward dysfunction in major depression: multimodal neuroimaging evidence for refining the melancholic phenotype. *Neuroimage*, *101*, 50–58.
- Forbes, E. E., Christopher May, J., Siegle, G. J., Ladouceur, C. D., Ryan, N. D., Carter, C. S., Birmaher, B., Axelson, D. A. & Dahl, R. E. (2006). Reward-related decision-making in pediatric major depressive disorder: an fMRI study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *47*(10), 1031–1040.
- Foti, D. & Hajcak, G. (2009). Depression and reduced sensitivity to non-rewards versus rewards: evidence from event-related potentials. *Biological Psychology*, *81*(1), 1–8.
- Foulkes, L. & Blakemore, S. J. (2016). Is there heightened sensitivity to social reward in adolescence? *Current Opinion in Neurobiology*, *40*, 81–85.
- Gabbay, V., Johnson, A. R., Alonso, C. M., Evans, L. K., Babb, J. S. & Klein, R. G. (2015). Anhedonia, but not irritability is associated with illness severity outcomes in adolescent Major Depression. *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, *25*(3), 194-200.
- Giedd, J. N. (2008). The teen brain: Insights from neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, *42*(4), 335–343.
- Gillespie, N. A., Johnstone, S. J., Boyce, P., Heath, A. C. & Martin, N. G. (2001). The genetic and environmental relationship between the interpersonal sensitivity measure (IPSM) and the personality dimensions of Eysenck and Cloninger. *Personality and Individual Differences*, *31*(7), 1039–1051.
- Gladstone, T. R. G. & Kaslow, N. J. (1995). Depression and attributions in children and adolescents: A meta-analytic review. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *23*(5), 597-606.

- Glazer, J. E., Kelley, N. J., Pornpattananangkul, N., Mittal, V. A. & Nusslock, R. (2018). Beyond the FRN: Broadening the time-course of EEG and ERP components implicated in reward processing. *International Journal of Psychophysiology*, 132, 184-202.
- Goldstein, R. Z., Cottone, L. A., Jia, Z., Maloney, T., Volkow, N. D. & Squires, N. K. (2006). The effect of graded monetary reward on cognitive event-related potentials and behavior in young healthy adults. *International Journal of Psychophysiology: official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 62(2), 272–279.
- Goodyer I. M. & Cooper P. J. (1993). A community study of depression in adolescent girls. II: The clinical features of identified disorder. *British Journal of Psychiatry*, 163, 374-380.
- Greimel, E. (2011). Sozial-affektive Entwicklung im Jugendalter. In: P. J. Uhlhaas & K. Konrad (Hrsg.), *Das adoleszente Gehirn* (S. 158–172). Stuttgart, Deutschland: Kohlhammer.
- Greimel, E., Bakos, S., Landes, I., Töllner, T., Bartling, J., Kohls, G. & Schulte-Körne, G. (2018). Sex differences in the neural underpinnings of social and monetary incentive processing during adolescence. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 18(2), 296-312.
- Gross, J. J., John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(2), 348-362.
- Guyer, A. E., Choate, V. R., Detloff, A., Benson, B., Nelson, E. E., Perez-Edgar, K., Fox, N. A., Pine, D. S. & Ernst, M. (2012). Striatal functional alteration during incentive anticipation in pediatric anxiety disorders. *The American Journal of Psychiatry*, 169(2), 205-212.
- Hankin, B. L. & Abramson, L. Y. (2001). Development of gender differences in depression: An elaborated cognitive vulnerability-transactional stress theory. *Psychological Bulletin*, 127(6), 773-796.
- Hankin, B. L., Abramson, L. Y., Moffitt, T. E., Silva, P. A., McGee, R. & Angell, K. E. (1998). Development of depression from preadolescence to young adulthood: Emerging gender differences in a 10-year longitudinal study. *Journal of Abnormal Psychology*, 107(1), 128-140.
- Hare, T. A., Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H. & Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. *Biological Psychiatry*, 63(10), 927-934.
- Henriques, J. B. & Davidson, R. J. (2000). Decreased responsiveness to reward in depression. *Cognition and Emotion*, 14(5), 711–724.
- Höflich, A., Michenthaler, P., Kasper, S., Lanzenberger, R. (2018). Circuit mechanisms of reward, anhedonia, and depression. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, pii018, 1-14.

- Houston, R. J., Bauer, L. O. & Hesselbrock, V. M. (2004). P300 evidence of cognitive inflexibility in female adolescents at risk for recurrent depression. *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry*, 28(3), 529–536.
- Hulvershorn, L. A., Cullen, K., & Anand, A. (2011). Toward dysfunctional connectivity: A review of neuroimaging findings in pediatric major depressive disorder. *Brain Imaging and Behavior*, 5(4), 307-328.
- Jacobi, F., Höfler, M., Strehle, S., Mack, S., Gerschler, A., Scholl, L. Busch, M. A., Maske, U., Hapke, U., Gaebel, W., Maier, W., Wagner, M., Zielasek, J. & Wittchen, H.-U. (2016). Erratum zu: Psychische Störungen in der Allgemeinbevölkerung. Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland und ihr Zusatzmodul "Psychische Gesundheit" (DEGS1-MH). *Der Nervenarzt*, 87(1), 88-90.
- Jaffee, S. R., Moffitt, T. E., Caspi, A., Fombonne, E., Poulton, R. & Martin, J. (2002). Differences in early childhood risk factors for juvenile-onset and adult-onset depression. *Archives of General Psychiatry*, 59(3), 215–222.
- Kaufman, J., Martin, A., King, R. A. & Charney, D. (2001). Are child-, adolescent-, and adult-onset depression one and the same disorder? *Biological Psychiatry*, 49(12), 980–1001.
- Keren, H., O'Callaghan, G., Vidal-Ribas, P., Buzzell, G. A., Brotman, M. A., Leibenluft, E., Pan, P. M., Meffert, L., Kaiser, A., Wolke, S., Pine, D. S., & Stringaris, A. (2018). Reward processing in depression: a conceptual and meta-analytic review across fMRI and EEG Studies. *The American Journal of Psychiatry*, appiajp201817101124. [Epub ahead of print].
- Kerestes, R., Davey, C. G., Stephanou, K., Whittle, S. & Harrison, B. J. (2014). Functional brain imaging studies of youth depression: a systematic review. *NeuroImage: Clinical*, 4, 209–231.
- Kessler, R. C, Berglund, P., Demler, O., Jin, R., Merikangas, K. R. & Walters, E. E. (2005). Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. *Archives of General Psychiatry*, 62(6), 593-602.
- Knutson, B., Bhanji, J. P., Cooney, R. E., Atlas, L. Y., Gotlib, I. H. (2008). Neural responses to monetary incentives in major depression. *Biological Psychiatry*, 63(7), 686-692.
- Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E. & Hommer, D. (2000). FMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task. *NeuroImage*, 12(1), 20–27.
- Kotani, Y., Ohgami, Y., Ishiwata, T., Arai, J., Kiryu, S. & Inoue, Y. (2015). Source analysis of stimulus-preceding negativity constrained by functional magnetic resonance imaging. *Biological Psychology*, 111, 53–64.
- Kujawa, A. & Burkhouse, K. L. (2017). Vulnerability to depression in youth: advances from affective neuroscience. *Biological Psychiatry. Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 2(1), 28–37.



- Landes, I., Bakos, S., Kohls, G., Bartling, J., Schulte-Körne, G. & Greimel, E. (2018). Altered neural processing of reward and punishment in adolescents with Major Depressive Disorder. *Journal of Affective Disorders*, 232, 23-33.
- Lewandowski, R. E., Acri, M. C., Hoagwood, K. E., Olfson, M., Clarke, G., Gardner, W., Scholle, S. H., Byron, S., Kelleher, K., Pincus, H. A., Frank, S. & Horwitz, S. M. (2013). Evidence for the management of adolescent depression. *Pediatrics*, 132(4), e996-e1009.
- Lewinsohn, P. M., Petit, J. W., Joiner, T. E., Jr. & Seeley, J. R. (2003). The symptomatic expression of major depressive disorder in adolescents and young adults. *Journal of Abnormal Psychology*, 112(2), 244-252.
- Liu, W.-H., Wang, L.-Z., Shang, H.-R., Shen, Y., Li, Z., Cheung, E. F. C. & Chan, R. C. K. (2014). The influence of anhedonia on feedback negativity in major depressive disorder. *Neuropsychologia*, 53, 213–220.
- Lukie, C. N., Montazer-Hojat, S. & Holroyd, C. B. (2014). Developmental changes in the reward positivity: An electrophysiological trajectory of reward processing. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 9, 191-199.
- Luking, K. R., Pagliaccio, D., Luby, J. L. & Barch, D. M. (2016). Depression risk predicts blunted neural responses to gains and enhanced responses to losses in healthy children. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 55(4), 328–337.
- Lutz, K. & Widmer, M. (2014). What can the monetary incentive delay task tell us about the neural processing of reward and punishment? *Neuroscience and Neuroeconomy*, 3, 33–45.
- Martens, R. & White, V. (1975). Influence of win-loss ratio on performance, satisfaction and preference for opponents. *Journal of Experimental Social Psychology*, 11(4), 343-362.
- Murphy, F. C., Michael, A., Robbins, T. W. & Sahakian, B. J. (2003). Neuropsychological impairment in patients with major depressive disorder: the effects of feedback on task performance. *Psychological Medicine*, 33(3), 455–467.
- Nelson, B. D., Perlman, G., Klein, D. N., Kotov, R. & Hajcak, G. (2016). Blunted neural response to rewards as a prospective predictor of the development of depression in adolescent girls. *The American Journal of Psychiatry*, 173(12), 1223–1230.
- Novak, K. D. & Foti, D. (2015). Teasing apart the anticipatory and consummatory processing of monetary incentives: an event-related potential study of reward dynamics. *Psychophysiology*, 52(11), 1470–1482.
- Novak, B. K., Novak, K. D., Lynam, D. R. & Foti, D. (2016). Individual differences in the time course of reward processing: stage-specific links with depression and impulsivity. *Biological Psychology*, 119, 79–90.

- Pagliaccio, D., Luking, K. R., Anokhin, A. P., Gotlib, I. H., Hayden, E. P., Olino, T. M., Peng, C. Z., Hajcak, G. & Barch, D. M. (2016). Revising the BIS/BAS Scale to study development: Measurement invariance and normative effects of age and sex from childhood through adulthood. *Psychological Assessment*, 28(4), 429–442.
- Parsons T. D. (2015). Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 660.
- Paus, T., Keshavan, M. & Giedd, J. N. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(12), 947-957.
- Peters, S. & Crone, E. A. (2017). Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nature Communications*, 8, 1983.
- Pietrzak, J., Downey, G. & Ayduk, O. (2005). Rejection sensitivity as an interpersonal vulnerability. In: M.W. Baldwin (Hrsg.), *Interpersonal Cognition* (pp. 62–84). New York, New York, USA: Guilford Press.
- Pizzagalli, D. A., Holmes, A. J., Dillon, D. G., Goetz, E. L., Birk, J. L., Bogdan, R., Dougherty, D. D., Iosifescu, D. V., Rauch, S. L. & Fava, M. (2009). Reduced caudate and nucleus accumbens response to rewards in unmedicated individuals with major depressive disorder. *The American Journal of Psychiatry*, 166(6), 702–710.
- Platt, B., Kadosh, K. C. & Lau, J. Y. F. (2013). The role of peer rejection in adolescent depression. *Depression and Anxiety*, 30(9), 809–821.
- Polich, J. (2003). Theoretical overview of P3a and P3b. In: J. Polich (Hrsg.), *Detection of change: event-related potential and fMRI findings* (S. 83–98). Boston, Massachusetts, USA: Springer.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148.
- Posternak, M. A. & Zimmerman, M. (2001). Symptoms of atypical depression. *Psychiatry Research*, 104(2), 175–181.
- Proudfit, G. H. (2015). The reward positivity: from basic research on reward to a biomarker for depression. *Psychophysiology*, 52(4), 449–459.
- Rao, U. & Chen, L. A. (2009). Characteristics, correlates, and outcomes of childhood and adolescent depressive disorders. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 11(1), 45–62.
- Rose, A. J. & Rudolph, K. D. (2006). A review of sex differences in peer relationship processes: potential trade-offs for the emotional and behavioral development of girls and boys. *Psychological Bulletin*, 132(1), 98-131.
- Rosenbach, C. (2013). Rejection sensitivity – etiological aspects and psychopathological impact. (Dissertation). Freie Universität Berlin. Verfügbar unter: <https://dnb.info/1051812224/34>
- Rubia, K. (2013). Functional brain imaging across development. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 22(12), 719–731.

- Sagud, M., Hotujac, L., Mihaljević-Peles, A. & Jakovljević, M. (2002). Gender differences in depression. *Collegium Antropologicum*, 26(1), 149-157.
- Santesso, D. L., Bogdan, R., Birk, J. L., Goetz, E. L., Holmes, A. J. & Pizzagalli, D. A. (2012). Neural responses to negative feedback are related to negative emotionality in healthy adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(7), 794–803.
- Santesso, D. L., Dzyundzyak, A. & Segalowitz, S. J. (2011). Age, sex and individual differences in punishment sensitivity: factors influencing the feedback-related negativity. *Psychophysiology*, 48(11), 1481–1489.
- Schneider, S., Unnewehr, S. & Margraf, J. (2009). *Kinder-DIPS: Diagnostisches Interview bei psychischen Störungen im Kindes- und Jugendalter (2. Auflage)*. Heidelberg, Deutschland: Springer.
- Schulte-Körne G. (2016). Psychische Störungen bei Kindern und Jugendlichen im schulischen Umfeld. *Deutsches Ärzteblatt*, 113(11), 183-190.
- Sebastian, C. L., Viding, E., Williams, K. D. & Blakemore, S.-J. (2010). Social brain development and the affective consequences of ostracism in adolescence. *Brain and Cognition*, 72(1), 134–145.
- Silk, J. S., Davis, S., McMakin, D. L., Dahl, R. E. & Forbes, E. E. (2012). Why do anxious children become depressed teenagers? The role of social evaluative threat and reward processing. *Psychological Medicine*, 42(10), 2095–2107.
- Silk, J. S., Siegle, G. J., Lee, K. H., Nelson, E. E., Stroud, L. R. & Dahl, R. E. (2014). Increased neural response to peer rejection associated with adolescent depression and pubertal development. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(11), 1798–1807.
- Slavich, G. M. & Irwin, M. R. (2014). From stress to inflammation and major depressive disorder: A social signal transduction theory of depression. *Psychological Bulletin*, 140(3), 774-815.
- Somerville, L. H. & Casey, B. J. (2010). Developmental neurobiology of cognitive control and motivational systems. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 236-241.
- Somerville, L. H., Jones, R. M. & Casey, B. J. (2010). A time of change: behavioral and neural correlates of adolescent sensitivity to appetitive and aversive environmental cues. *Brain and Cognition*, 72(1), 124-133.
- Spear, L. P. (2011). Rewards, aversions and affect in adolescence: emerging convergence across laboratory animal and human data. *Developmental cognitive neuroscience*, 1(4), 392-400.
- Spreckelmeyer, K. N., Krach, S., Kohls, G., Rademacher, L., Irmak, A., Konrad, K., Kircher, T. & Gründer, G. (2009). Anticipation of monetary and social reward differently activates mesolimbic brain structures in men and women. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 4(2), 158–165.
- Stiensmeier-Pelster, J. (1988). Erlernte Hilflosigkeit, Handlungskontrolle und Leistung. In: D. Albert, K. Pawlik, K.-H. Stapf, W. Stroebe (Hrsg.), *Lehr- und Forschungstexte Psychologie*. Berlin/Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag.

- Stringaris, A., Vidal-Ribas Belil, P., Artiges, E., Lemaitre, H., Gollier-Briant, F., Wolke, S., Vulser, H., Miranda, R., Penttila, J., Struve, M., Fadai, T., Kappel, V., Grimmer, Y., Goodman, R., Poustka, L., Conrod, P., Cattrell, A., Banaschewski, T., Bokde, A. L., Bromberg, U., Buchel, C., Flor, H., Frouin, V., Gallinat, J., Garavan, H., Gowland, P., Heinz, A., Ittermann, B., Nees, F., Papadopoulos, D., Paus, T., Smolka, M. N., Walter, H., Whelan, R., Martinot, J. L., Schumann, G., Paillere-Martinot, M. L. & Consortium, I. (2015). The brain's response to reward anticipation and depression in adolescence: dimensionality, specificity, and longitudinal predictions in a community-based sample. *The American Journal of Psychiatry*, *172*(12), 1215–1223.
- Thapar, A., Collishaw, S., Pine, D. S. & Thapar, A. K. (2012). Depression in adolescence. *Lancet*, *379*(9820), 1056-1067.
- Thapar, A., Collishaw, S., Potter, R. & Thapar, A. K. (2010). Managing and preventing depression in adolescents. *BMJ*, *340*, c209.
- Webb, C. A., Auerbach, R. P., Bondy, E., Stanton, C. H., Foti, D. & Pizzagalli, D. A. (2017). Abnormal neural responses to feedback in depressed adolescents. *Journal of Abnormal Psychology*, *126*(1), 19–31.
- Weiss, R. H. (2006). *Grundintelligenztest Skala 2- Revision. CFT 20-R*. Goettingen, Deutschland: Hogrefe.
- Williams, J. M. G., Barnhofer, T., Crane, C., Duggan, D. S., Shah, D., Brennan, K., Krusche, A., Crane, R., Eames, C., Jones, M., Radford, S. & Russell, I. T. (2012). Pre-adult onset and patterns of suicidality in patients with a history of recurrent depression. *Journal of Affective Disorders*, *138*(1-2), 173-179.
- Windfuhr, K., While, D., Hunt, I., Turnbull, P., Lowe, R., Burns, J., Swinson, N., Shaw, J., Appleby, L., Kapur, N., Ashton, A., Stones, P., Hadfield, K., Daud, H., Flynn, S., Rodway, C., Roscoe, A., Bickley, H., Pearson, A., Saini, P. & Da Cruz, D. (2008). Suicide in juveniles and adolescents in the United Kingdom. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *49*(11), 1155-1165.
- World Health Organization (WHO). (1992). *The ICD-10 classification of mental and behavioural disorders: clinical descriptions and diagnostic guidelines*. Genf, Schweiz: World Health Organization.
- World Health Organisation (WHO). (2017). *Global accelerated action for the health of adolescents (AA-HA!): guidance to support country implementation. Summary*. Genf, Schweiz: World Health Organization.
- Zhuang, Y., Feng, W. & Liao, Y. (2017). Want more? Learn less: Motivation affects adolescents learning from negative feedback. *Frontiers in Psychology*, *8*, 76.
- Zisook, S., Lesser, I., Stewart, J. W., Wisniewski, S. R., Balasubramani, G. K., Fava, M., Gilmer, W. S., Dresselhaus, T. R., Thase, M. E., Nierenberg, A. A., Trivedi, M. H. & Rush, A. J. (2007). Effect of age at onset on the course of major depressive disorder. *The American Journal of Psychiatry*, *2007*, *164*(10), 1539-1546.

## Abkürzungsverzeichnis

### Deutsch

APA	American Psychiatric Association
cP3	Cue-P3
DSM-5	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5
EEG	Elektroenzephalogramm
EKPs	Ereigniskorrelierte Potentiale
F(R)N	Feedback (related) negativity
fP3	Feedback-P3
FZE-K	Fragebogen zur Zurückweisungsempfindlichkeit für Kinder und Jugendliche
ICD-10	International Classification of Diseases 10
IDT	Incentive Delay Task
KJP	Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatik und Psychiatrie
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
SPN	Stimulus-preceding negativity
RewP	Reward positivity
WHO	World Health Organization

### Englisch

ERPs	Event-related potentials
------	--------------------------

## Studie 1

### Altered neural processing of reward and punishment in adolescents with Major Depressive Disorder

---

Landes, I., Bakos, S., Kohls, G., Bartling, J., Schulte-Körne, G. & Greimel, E. (2018). Altered neural processing of reward and punishment in adolescents with Major Depressive Disorder. *Journal of Affective Disorders*, 232, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.01.017>

Angenommen am 29. Januar 2018  
Online publiziert am 31. Januar 2018

## Studie 2

### Sex differences in the neural underpinnings of social and monetary incentive processing during adolescence

---

Greimel\*, E., Bakos\*, S., Landes, I., Töllner, T., Bartling, J., Kohls, G. & Schulte-Körne, G. (2018). Sex differences in the neural underpinnings of social and monetary incentive processing during adolescence. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 18, 296-312.

<https://doi.org/10.3758/s13415-018-0570-z>

\*in geteilter Erstautorenschaft

Angenommen am 20. Januar 2018

Online publiziert am 13. Februar 2018

## Studie 3

### Zurückweisungsempfindlichkeit bei Jugendlichen mit Depression

[Rejection sensitivity in adolescents with major depression]

---

Feldmann, L., Landes, I., Schulte-Körne, G. & Greimel, E. (2017). Zurückweisungsempfindlichkeit bei Jugendlichen mit Depression. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*, 46, 143-153.  
<https://doi.org/10.1024/1422-4917/a000525>

Angenommen am 12. März 2017  
Online publiziert am 8. Mai 2017



## Studie 1 Supplement

Landes, I., Bakos, S., Kohls, G., Bartling, J., Schulte-Körne, G. & Greimel, E. (2018). Altered neural processing of reward and punishment in adolescents with Major Depressive Disorder. *Journal of Affective Disorders*, 232, 23-33.

Das Supplement („supporting material“) dieses Artikels befindet sich online unter: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jad.2018.01.017>.

### Supporting Material

**S1** – Information on comorbidities and further clinical characteristics within the Major Depressive Disorder group

**S2** – Detailed trial structure of the Monetary Incentive Delay Task used in this study

**S3** – Online response algorithm of the Monetary Incentive Delay Task used in this study

**S4** – Stimuli of the Monetary Incentive Delay Task used in this study

**S5 – Figure A.** Radial projection of the electrode montage: Illustration of the 128-channel arrangement and electrode position

**S6** – Incentive effects of cue/feedback presentation on cP3/fP3 mean amplitude

**S6 – Figure B & C.** Stimulus-locked event-related potentials to experimental and control feedback

**S7 – Figure D.** Reward Positivity (RewP) difference wave: Stimulus locked event-related potentials to positive and negative outcomes as well as the difference wave between both within the monetary reward and monetary punishment condition

**S8 – Figure E.** Stimulus-locked event-related potentials to cues in the monetary punishment condition for the Major Depressive Disorder and control group at sample electrode site 61 & and scalp distributions for the cP3.

**S9** – Information on noise level estimates

**S9 – Table A.** Noise level estimates for the cP3 and fP3 for the monetary reward and monetary punishment condition, separately for the Major Depressive Disorder (MDD) and control group

### References Supporting Material

*S1 - Information on comorbidities and further clinical characteristics within the Major Depressive Disorder (MDD) group:*

In regard of psychiatric comorbidities, MDD participants who met the criteria of a current or past diagnosis in terms of attention deficit [and hyperactivity] disorder (AD[H]S), obsessive-compulsive disorder, substance abuse or dependence, bipolar disorder, schizophrenic disorder or social phobia were not included in the present study. MDD patients comorbid with other than the above listed disorders were included, if MDD was the main psychiatric condition. Two MDD participants were diagnosed with a comorbid eating disorder (one with Bulimia nervosa, one with Anorexia nervosa [BMI>10<sup>th</sup> percentile at time of assessment]), two participants met the criteria of a comorbid posttraumatic stress disorder, three participants were diagnosed with a comorbid episode of dysthymia (one with an additional diagnosis of a past conduct disorder and one with an additional diagnosis of specific phobia, see below), and three participants fulfilled the criteria for a specific phobia (one with an additional diagnosis of dysthymia, see above). Of note, none of the MDD participants met the criteria of a comorbid general anxiety disorder, panic disorder or agoraphobia. This was presumably due to the fact that MDD was requested to be the main psychiatric condition and patients presenting with MDD that was secondary to an anxiety disorder or patients for whom MDD as the primary diagnosis could not reliably be confirmed based on the Kinder-DIPS were not included in the study. Regarding the course of depression, 15 out of 25 participants were diagnosed with a first episode of depression at the time of study assessment, the remaining 10 participants were diagnosed with a recurrent depressive disorder. The mean age of onset of MDD was 13.24 years (SD 2.13), ranging from 7 years to 17 years. A parental/sibling history of depression was reported for seven participants of the MDD group (mother: 1; father: 6, one with additionally 1 sibling affected by depression).

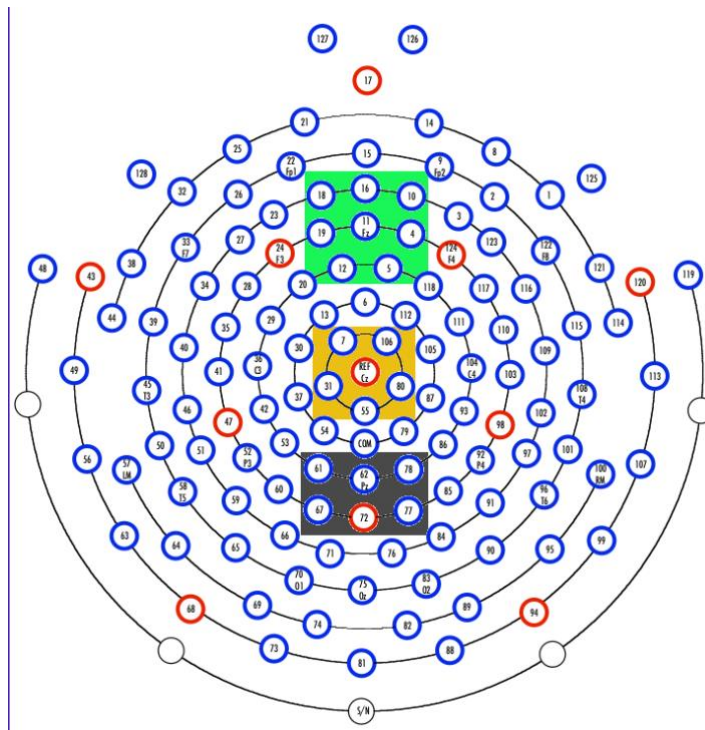
*S2 - Detailed trial structure of the Monetary Incentive Delay Task (MIDT) used in this study:* Each trial started with a cue (500ms), informing the participant of a possible reward or punishment, depending on the specific experimental condition (monetary reward/monetary punishment) or the occurrence of a control trial. After the presentation of the cue, an anticipation phase followed, with a duration jittered between 1750–2250ms (mean: 2000ms) in order to prevent an automated response and to ensure that the participants' attention was focused on the upcoming target. Thereafter, the target was presented and remained on screen for an individually set period of time, which was defined through our adaptive online response algorithm (see S3). The participants were instructed to press the left mouse button with the index finger of the dominant hand as fast and as precisely as possible (i.e., avoiding anticipatory responses or misses) in order to hit the target while it was presented on screen. 1500ms after target onset, the condition-specific feedback stimulus or the control feedback was presented and remained on screen for 1500ms. If the participant managed to press the response button in time in experimental trials, a positive feedback occurred (reward outcome within the monetary reward condition or likewise no-punishment outcome within the monetary punishment condition) whereas late responses (when the target had already disappeared from screen) led to negative feedback (no-reward outcome within the monetary reward condition or likewise punishment outcome within the monetary punishment condition). Note that also missing responses and anticipatory responses were followed by negative feedback. In control trials, a non-informative stimulus was presented as feedback regardless of the participant's reaction. After feedback presentation, an Inter-Trial-Interval (ITI) of 500ms followed displaying a blank screen. Given that the feedback onset was presented 1500ms after target onset (independent of the individual RTs) trial duration was kept constant across participants.

*S3 - Online response algorithm of the Monetary Incentive Delay Task (MIDT) used in this study:*

The individual response window, namely the period of time while the target remained on screen, was defined through an online response algorithm (for a similar approach see, e.g. Kohls et al., 2013). In detail, the target duration was adjusted online based on the reaction times of the two previous experimental trials to achieve an accuracy rate of ~50%. Aligning all participants to an accuracy rate – and thus positive feedback rate – of approximately 50% has been shown to be optimal with regard to the motivational value (Martens & White, 1975) and also guarantees that positive and negative feedback is presented in the same frequency. The online algorithm furthermore promoted task believability as outcomes were clearly linked to the specific individual reaction within each trial. In this study, the hit rate of the participants across groups was on average  $45.20\% \pm 6.65\%$  in monetary reward trials and  $45.31\% \pm 6.27\%$  in monetary punishment trials (both approximating the targeted 50%). Notably, groups did not differ in hit rates in both experimental conditions (all  $p > .22$ ). The initial target durations for both conditions (monetary reward, monetary punishment) were based on the individual mean reaction times in a condition-specific practice session.

*S4 – Stimuli of the Monetary Incentive Delay Task (MIDT) used in this study:*

The feedback stimuli of the MIDT were designed to concur with the themes of monetary reward (“reward” vs. “no-reward”) and punishment (“punishment” vs. “no-punishment”). Altogether 40 slightly varying photographs of money bags were presented (10 for each outcome type: reward/no-reward; punishment/no-punishment). The 40 control trials within each block consisted of 10 slightly varying scrambled patterns (designed with Adobe Photoshop7.0). Pictures were controlled in luminescence and design to match the stimuli of the experimental conditions. Likewise Adobe Photoshop7.0 was used to design the cue stimuli. The two condition specific cue stimuli as well as the control cue stimulus each consisted of an array of a money/control symbol and an arrow (see Figure 1 in the main text). All stimuli were presented on a 17inches Dell monitor placed 70cm in front of the participants.



S5 – Figure A:

Illustration of the 128-channel arrangement and electrode position taken from Electrical Geodesic, Inc. Black square: Parietal ROI for the cP3 and fP3 analyses, spanning electrodes 61,62[Pz],67,72,77&78; Orange square: Central ROI for the RewP analyses, spanning electrodes 7,31,55,80,106,129[Cz]; Green square: Frontal ROI for the RewP analyses, spanning electrodes 4,5,10,11[Fz],12,16,18,19.

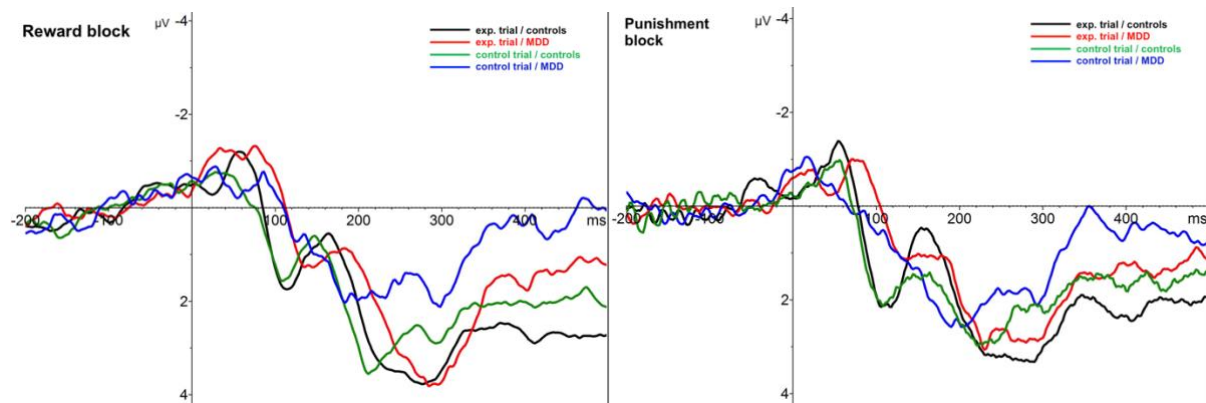
*S6 - Incentive effects of cue/feedback presentation on cP3/fP3 mean amplitude:*

cP3 and fP3 components for control trials were characteristically different from those for monetary reward/monetary punishment trials. More precisely no clear peak of the components was evident for control trials. In order to nevertheless examine incentive effects of meaningful vs. meaningless cue/feedback presentation on cP3/fP3 amplitudes, we conducted additional analyses in which we compared mean amplitudes for experimental and control trials, taking into account the factors block and group.

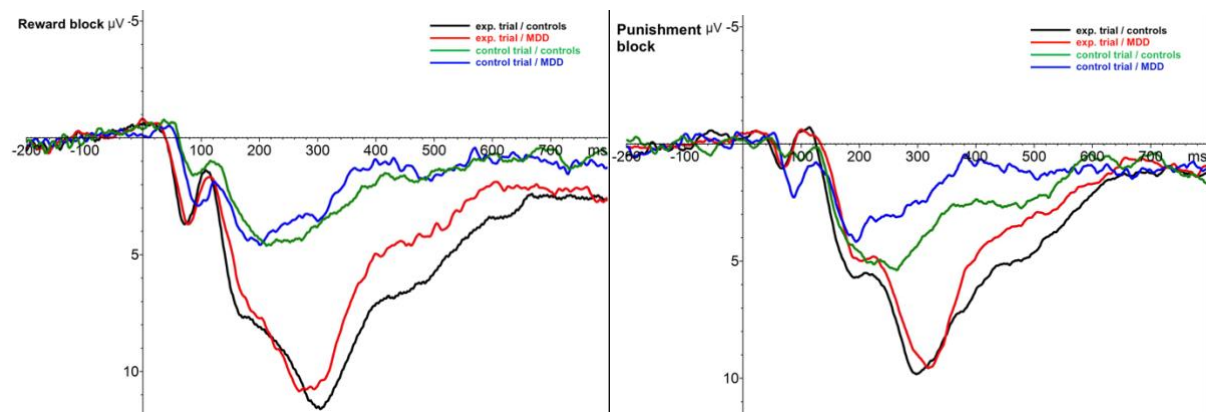
cP3 mean amplitudes were analyzed in the time window between 200-340ms at the parietal ROI (see S5 - Figure A) based on a 2(block: reward/punishment)x2(trial type: experimental trial/control trial)x2(group: MDD/control) repeated-measures ANOVA. This analysis revealed a significant main effect of block ( $F(1,52)=10.24;p=.002;\eta^2_p=.17$ ) and trial type ( $F(1,52)=4.61;p=.04;\eta^2_p=.08$ ) with smaller mean amplitudes for monetary reward trials (compared to monetary punishment trials) and higher mean amplitudes for experimental trials (compared to control trials; see S6 Figure B). Higher mean amplitudes to experimental compared to control cues indicate an elevated attentional effect of the reward/punishment-predicting cues on the cP3 component across all participants. Enhanced cP3 amplitudes are commonly interpreted as stronger allocation of attention towards the cue, which subsequently motivates incentive-seeking behavior (Novak & Foti, 2015).

fP3 mean amplitudes were analyzed in the time window between 220-400ms at the parietal ROI (see S5 – Figure A) based on a 2(block: reward/punishment)x2(trial type: experimental trial/control trial) x2(group: MDD/control) repeated-measures ANOVA. This analysis revealed significant main effects of block ( $F(1,52)=6.83;p=.01; \eta^2_p=.12$ ) and trial type ( $F(1,52)=188.79;p<.001;\eta^2_p=.78$ ) with smaller mean amplitudes for monetary punishment trials (compared to monetary reward trials) and higher mean amplitudes for experimental trials (compared to control trials; see S6 Figure C). The latter result indicates elevated consummatory brain activity across all participants elicited by performance-based, incentive

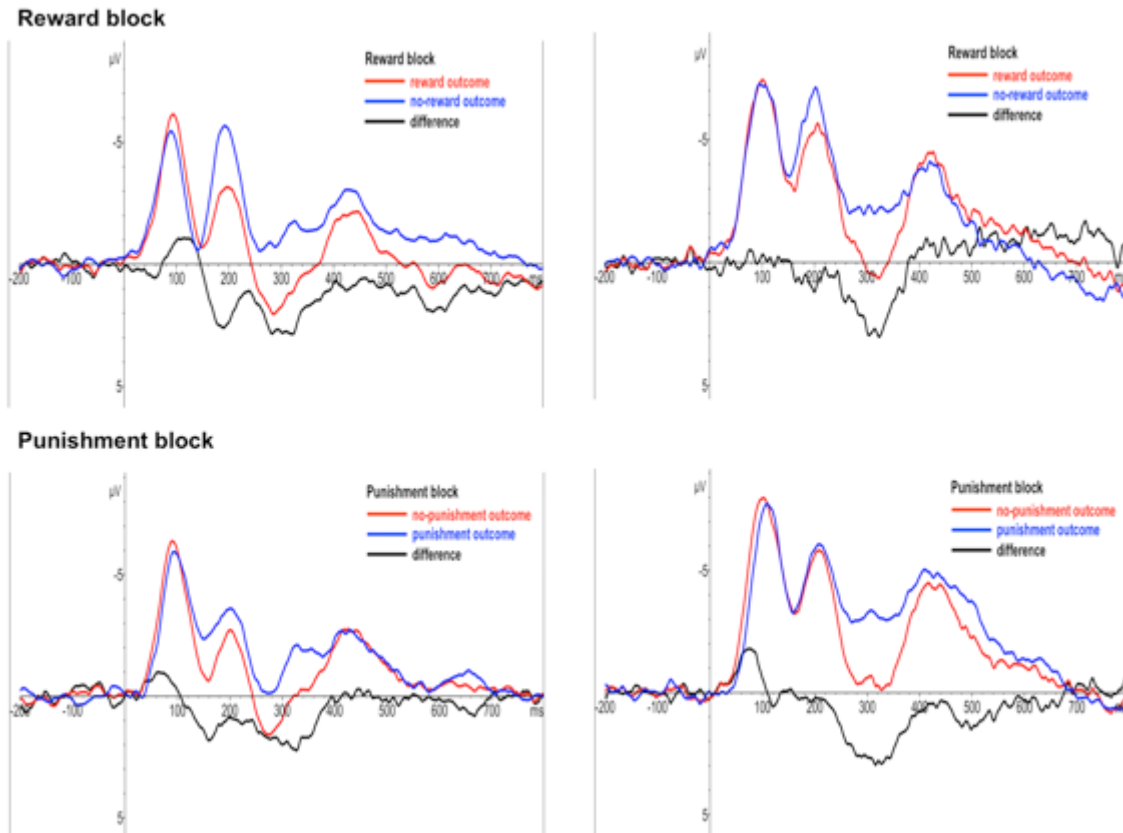
feedback as higher fP3 amplitudes are commonly interpreted as stronger allocation of attention towards the feedback stimuli (Novak & Foti, 2015).



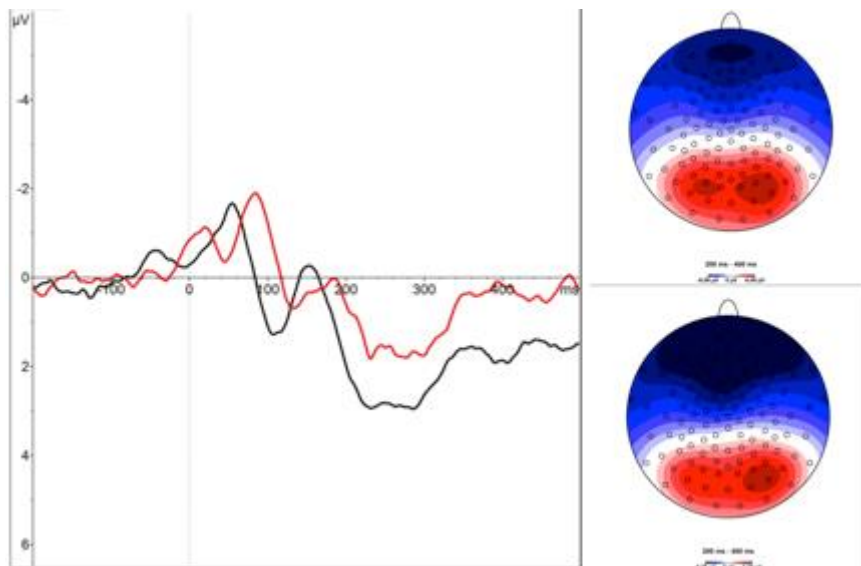
S6 – Figure B. Stimulus-locked event-related potentials for the Major Depressive Disorder (MDD) and controls to experimental cues (exp. trial) or control cues (control trial) in the reward block at sample electrode site 61 (top) and in the punishment block at sample electrode site 62 (bottom).



S6 – Figure C. Stimulus-locked event-related potentials for the Major Depressive Disorder group (MDD) and controls to experimental feedback (exp. trial) or control feedback (control trials) in the reward block (top) or punishment block (bottom) averaged across positive and negative outcome valences at electrode site 62 (Pz).



S7 – Figure D. RewP difference wave: Stimulus-locked event-related potentials for the Major Depressive Disorder group (right) and controls (left) to positive (reward block: reward; punishment block: no-punishment) and negative (reward block: no-reward; punishment block: punishment) outcomes as well as the difference wave between both outcome valences (positive minus negative outcomes) in the reward block (top) or punishment block (bottom) at a fronto-central electrode pooling of the frontal and central ROI (see S5 – Figure A).



S8 – Figure E. Left: Stimulus-locked event-related potentials to cues in the monetary punishment condition for the Major Depressive Disorder (red) and control group (black) at sample electrode site 61. Right: Scalp distribution for the cP3 (time window: 200-400ms) for the control (top) and MDD group (bottom).

S9 – Information on noise level estimates

Following recent recommendations (Clayson et al., 2013), we calculated noise level estimates (RMS (root mean square) amplitudes of the baseline period; see Kappenman and Luck, 2010) and compared them between groups for all experimental conditions to ensure the appropriateness of peak latency measures with respect to the cP3 and the fP3 component. The noise level of the prestimulus baseline period is generally considered a useful metric of the overall noise level of the data (Kappenman and Luck, 2010).

Noise levels for both components were comparable between groups (cP3: all  $p \geq .60$ ; fP3: all  $p \geq .47$ ; see S9 – Table A). Likewise, for both components, noise levels were comparable between the experimental conditions within both groups (all  $p \geq .35$ ).

*S9 – Table A. Noise level estimates for the cP3 and fP3 for the monetary reward and monetary punishment condition, separately for the Major Depressive Disorder (MDD) and control group*

		MDD (n=25)	Controls (n=29)	<i>p</i>
<b>Cue-P3, monetary reward</b>		.74 (.30)	.80 (.44)	.60
<b>Cue-P3, monetary punishment</b>		.75 (.48)	.74 (.37)	.96
<b>Feedback-P3, monetary reward – gain outcomes</b>		1.06 (.51)	1.16 (.59)	.52
<b>Feedback-P3, monetary reward – no-gain outcomes</b>		1.04 (.49)	1.12 (.64)	.63
<b>Feedback-P3, monetary punishment – loss outcomes</b>		1.00 (.43)	1.11 (.62)	.47
<b>Feedback-P3, monetary punishment – no-loss outcomes</b>		1.02 (.45)	1.12 (.60)	.51

Standard deviations in brackets; Noise levels were estimated based on RMS (root mean square) amplitude values of the baseline period (-200 to 0ms prestimulus; Kappenman and Luck, 2010).

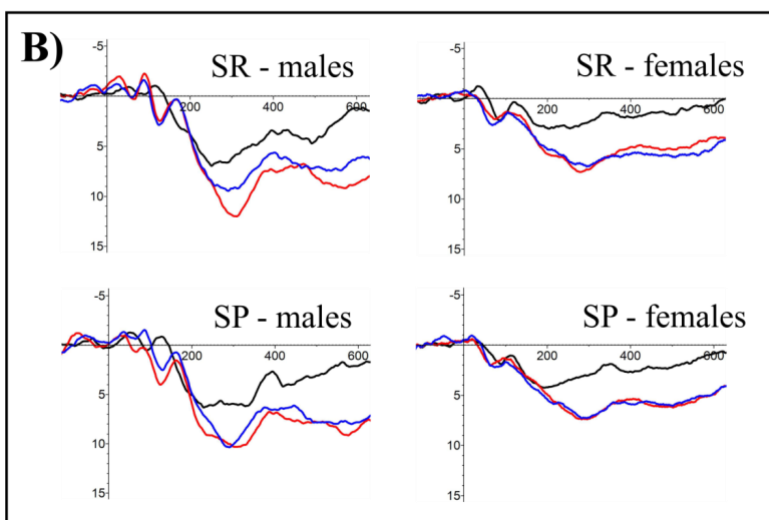
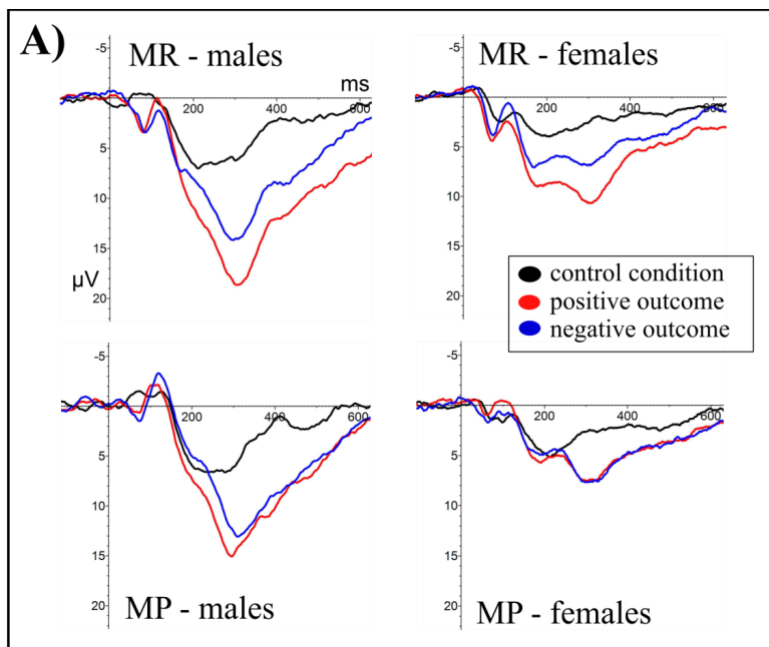
### **References Supporting Material**

- Clayson, P. E., Baldwin, S. A. & Larson, M. J. (2013). How does noise affect amplitude and latency measurement of event-related potentials (ERPs)? A methodological critique and simulation study. *Psychophysiology*, *50*, 174-186.
- Kappenman, E. S. & Luck, S. J. (2010). The effects of electrode impedance on data quality and statistical significance in ERP recordings. *Psychophysiology*, *47*, 888-904.
- Kohls, G., Perino, M. T., Taylor, J. M., Madva, E. N., Cayless, S. J., Troiani, V., Price, E., Faja, S., Herrington, J. D. & Schultz, R. T. (2013). The nucleus accumbens is involved in both the pursuit of social reward and the avoidance of social punishment. *Neuropsychologia*, *51*, 2062-2069.
- Martens, R. & White, V. (1975). Influence of win-loss ratio on performance, satisfaction and preference for opponents. *Journal of Experimental Social Psychology*, *11*, 343-362.
- Novak, K. D. & Foti, D. (2015). Teasing apart the anticipatory and consummatory processing of monetary incentives: An event-related potential study of reward dynamics. *Psychophysiology*, *52*, 1470-1482.

## Studie 2 Supplement

Greimel\*, E., Bakos\*, S., Landes, I., Töllner, T., Bartling, J., Kohls, G. & Schulte-Körne, G. (2018). Sex differences in the neural underpinnings of social and monetary incentive processing during adolescence. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 18, 296-312.

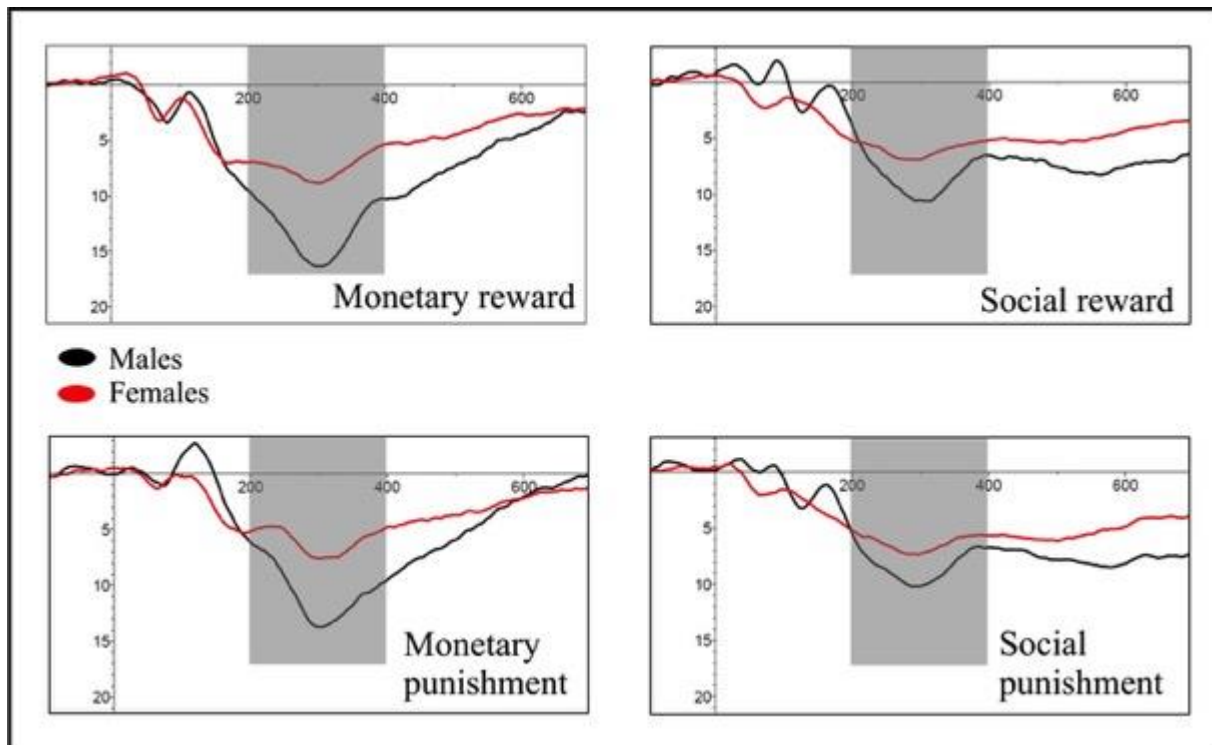
Das Supplement („supporting material“) dieses Artikels befindet sich online unter: <http://doi.org/10.3758/s13415-018-0570-z>



### Supporting material 1

Stimulus-locked event-related potentials (feedback-P3, fP3) following incentive delivery in the A) monetary reward (MR) and monetary punishment (MP) conditions, and in the B) social reward (SR) and social punishment (SP) conditions for males and females.





### Supporting material 2

Stimulus-locked event-related potentials (feedback-P3, fP3) following incentive delivery in the monetary reward (MR) and monetary punishment (MP) conditions, and in the social reward (SR) and social punishment (SP) conditions for males and females. The grey windows depict the time window used to determine individual peak amplitudes and latencies of the fP3.



## Eidesstattliche Versicherung

### Landes, Iris

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

### **„Die Verarbeitung von leistungsgebundenem und sozialem Feedback bei Jugendlichen mit und ohne Depression“**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 02.04.2019

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

Iris Landes

\_\_\_\_\_  
Unterschrift Doktorandin/Doktorand

## Danksagung

**I couldn't have asked for more** - mein Dank geht an PD Dr. Ellen Greimel für die wunderbare Betreuung über die gesamte Dauer der Promotion hinweg. Stets Ansprechpartnerin, erfahrene Ideengeberin, motivierender Beistand, wortgewandte Pragmatikerin, mit viel Herzenswärme und Verstand. Danke, dass ich all dies in deiner Person erleben durfte, danke für die Wegbegleitung.

Einen ebenfalls herzlichen Dank an meinen Doktorvater Prof. Dr. Gerd Schulte-Körne, der sowohl den Rahmen für das Projekt geschaffen hat als auch bei dessen Ausgestaltung immer mit Expertise, Engagement und offenem Ohr zur Seite stand. Vielen Dank für Ihre Unterstützung und Betreuung.

Bei technischen und methodischen Fragen blitzschnelle Ansprechpartner: Jürgen Bartling, Lothar Stein, Sven Busch. Einen herzlichen Dank an euch. Dank auch an das erstklassige Support-Team von BrainVision Analyzer, wenn es doch mal hakete.

Support wird auch bei unseren Studienassistentinnen groß geschrieben und hierfür danke ich - Carolina Silberbauer, Petra Wagenbüchler und Veronika Jäger.

Weit mehr als eine studentische Hilfskraft im Projekt - Sarolta Bakos. Vielen Dank für deine unerlässliche Teamarbeit, deine unglaubliche Kompetenz, deine Ehrlichkeit und Ausdauer. All das hat das Projekt und mich über die Zeit hinweg enorm vorangebracht.

Selbstverständlich danke ich auch allen Teilnehmern unseres Projekts, die mit ihrem Einsatz die Grundlage dieser Dissertation bilden.

Die Schlussworte gehören meiner Familie, ohne die dieser Weg nicht möglich gewesen wäre. Danke an meine Eltern für die Vermittlung eines unerschütterlichen Glaubens an mich selbst und ihre fortwährende Unterstützung. Danke an meinen Mann und meine Tochter, mir für all das, was hier nun zu Papier gebracht ist, den Rücken freizuhalten und zu stärken.