

**Carl von Ossietzky
Universität Oldenburg**

Bachelorstudiengang

Biologie

BACHELORARBEIT

**Verarbeitung negativer Rückmeldung mit
unterschiedlich affektiver Wertigkeit bei Kindern**

- Eine fMRT-Studie -

vorgelegt von: Sabrina Pelz

Betreuende Gutachterin/Betreuender Gutachter: Dipl.-Psych. Jale Özyurt

Zweite Gutachterin/Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Christiane Thiel

Oldenburg, _____

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Verarbeitung von negativem Feedback.....	4
1.2 Verarbeitung der affektiven Komponente von Feedback.....	6
1.3 Effekt der Entwicklung des Gehirns auf die Feedbackverarbeitung.....	7
1.4 Hypothesen.....	9
1.4.1 Hypothesen für die Verhaltensdaten.....	9
1.4.2 Hypothesen für die MR-Daten.....	10
2 Methoden	11
2.1 Einführung in die Grundlagen der Magnetresonanztomographie.....	11
2.2 Probanden.....	13
2.3 Untersuchungsparadigma.....	13
2.4 Aufgabendesign.....	15
2.5 Scannereinstellungen.....	17
2.6 Fragebogen Wirkung Feedback.....	18
2.7 Daten Auswertung.....	18
2.7.1 Auswertung der Verhaltensdaten.....	18
2.7.2 MR-Datenauswertung.....	19
2.7.3 Auswertung des Fragebogen.....	23
3 Ergebnisse	24
3.1 Verhaltensdaten.....	24
3.2 MR-Daten.....	27
3.2.1 Neurale Korrelate bei negativem Feedback.....	27
3.2.2 Neurale Korrelate bei niedriger affektiver Wertigkeit.....	30
3.2.3 Neurale Korrelate bei hoher affektiver Wertigkeit.....	30
3.3 Fragebogen zur Wirkung des Feedbacks.....	31
4 Diskussion	33
4.1 Verhaltensdaten.....	33
4.2 MR-Daten.....	37
4.2.1 Negatives Feedback.....	37
4.2.2 Effekt der affektiven Wertigkeit.....	43
5 Fazit	48
5.1 Ausblick.....	49
6 Literaturverzeichnis	50
6.1 Quellenverzeichnis Abbildungen.....	52
7 Anhang	53
7.1 Fragebogen zur Abklärung von Kontraindikation.....	54
7.2 Aufgabenzettel für die Vortestung.....	55
7.3 Fragebogen zur emotionalen Bewertung des Feedbacks.....	66
7.4 Eigenständigkeitserklärung.....	67

1 Einleitung

Wo der Mensch arbeitet, Entscheidungen trifft und Handlungen ausführt passieren Fehler. Sie sind oft unvermeidbar und Teil unserer täglichen Routine. Fehler sind von einem Soll-Zustand abweichende Handlungen, Prozesse und Sachverhalte (Gruber, 2003). Die Rückmeldung über Fehler (Feedback) ist Grundlage für Verhaltensanpassungen, die notwendig sind, um zielgerichtetes komplexes Verhalten aufrecht zu erhalten (Taylor et al., 2007). Gleichzeitig stellen Fehler aber auch einen Misserfolg dar und können negative Emotionen wie Scham, Ärger, Wut, Enttäuschung und Frustration hervorrufen. Der Grad der emotionalen Belastung ist von den persönlichen Ressourcen (Bsp. Selbstvertrauen, Bereitschaft für Veränderung), den Konsequenzen beim Eintreten des Fehlers und dem Umgang mit Fehlern abhängig (Gruber, 2003). Bei einer negativen Einstellung gegenüber Fehlern ist kein effizientes Lernen aus Fehlern möglich, da Fehler verborgen werden und der Sachverhalt damit nicht reflektiert werden kann (Rybowiak V., 1999). Bei einer positiven Einstellung, werden Fehler dagegen als „Lernverstärker“ angesehen und ein effektives Lernen wird ermöglicht (Rybowiak V., 1999). Um aber überhaupt aus Fehlern lernen zu können, müssen diese erkannt werden. Besonders bei komplexen Aufgaben ist zur Fehlererkennung eine Rückmeldung (Feedback) oft unerlässlich. Auch beim Erlernen von neuen Inhalten, wie es in der Schule der Fall ist, hat das Feedback eine wichtige Bedeutung. Mit Hilfe des Feedbacks können falsche Annahmen und Verknüpfungen mit vorhandenem Wissen korrigiert werden. Gerade in der Schule ist ein positiver Umgang mit Fehlern (bei Lehrern und Schülern) für eine angenehme und anregende Lernumgebung sehr wichtig.

Mit der Entwicklung moderner bildgebender Verfahren wie PET (Positronen-Emissions-Tomografie) und fMRT (funktionelle Magnet-Resonanz-Tomografie) wurde es möglich, die neuralen Grundlagen des menschlichen Fehlerverarbeitungssystems genauer zu untersuchen und beteiligte Gehirnregionen sichtbar zu machen. Auch mit elektrophysiologischen Verfahren, wie dem EEG (Elektroenzephalografie) konnten wissenschaftliche Erkenntnisse über die Fehlerverarbeitung gewonnen werden. Es gibt eine Vielzahl an Studien, die sich mit Fehlerverarbeitung und dem Umgang mit Fehlern beschäftigt haben. Es konnten unterschiedliche Gehirnregionen identifiziert werden, die mit der Verarbeitung von Fehlern, negativem und positivem Feedback assoziiert sind (Nieuwenhuis et al., 2005; Marco-Pallares et al., 2007; van Duijvenvoorde et al., 2008).

1.1 Verarbeitung von negativem Feedback

Im Zusammenhang mit negativem Feedback und Fehlerverarbeitung konnten viele fMRT-Studien eine Beziehung zu aktiven Gehirnregionen im posterioren medialen Frontalkortex herstellen (Taylor et al., 2007). Besonders häufig wird das anteriore Cingulum (AC) gefunden (Carter et al., 1998; Bush et al., 2000; Holroyd et al., 2004; Taylor et al., 2007). Das AC ist der anteriore Teil des cingulären Gyrus (siehe Abb. 1), welcher zum limbischen System gehört. Der cinguläre Gyrus liegt an den medialen Wänden der beiden Großhirnhemisphären, superior zum Corpus callosum (Purves, 2008). Auch elektrophysiologische Studien geben Hinweise darauf, dass dem AC eine entscheidende Rolle bei der Fehler- und Feedbackverarbeitung zukommt. Es wird vermutet, dass das AC Quelle eines negativen elektrischen Potenzials ist. Die Error Related Negativity (ERN) ist ca. 50 bis 100 Millisekunden nachdem ein Fehler begangen wurde messbar (Taylor et al., 2007). Die ERN kann durch die Signifikanz der Konsequenz des Fehlers modelliert werden. So ist die Amplitude des ERN höher, wenn die Betonung auf die Genauigkeit im Gegensatz zur Schnelligkeit bei der Aufgabenlösung gelegt wird (van Veen and Carter, 2006). EEG-Studien konnten auch noch ein weiteres elektrisches Potenzial identifizieren, welches an Fehler- und Feedbackverarbeitung beteiligt ist. Auch dessen Quelle wird im AC vermutet

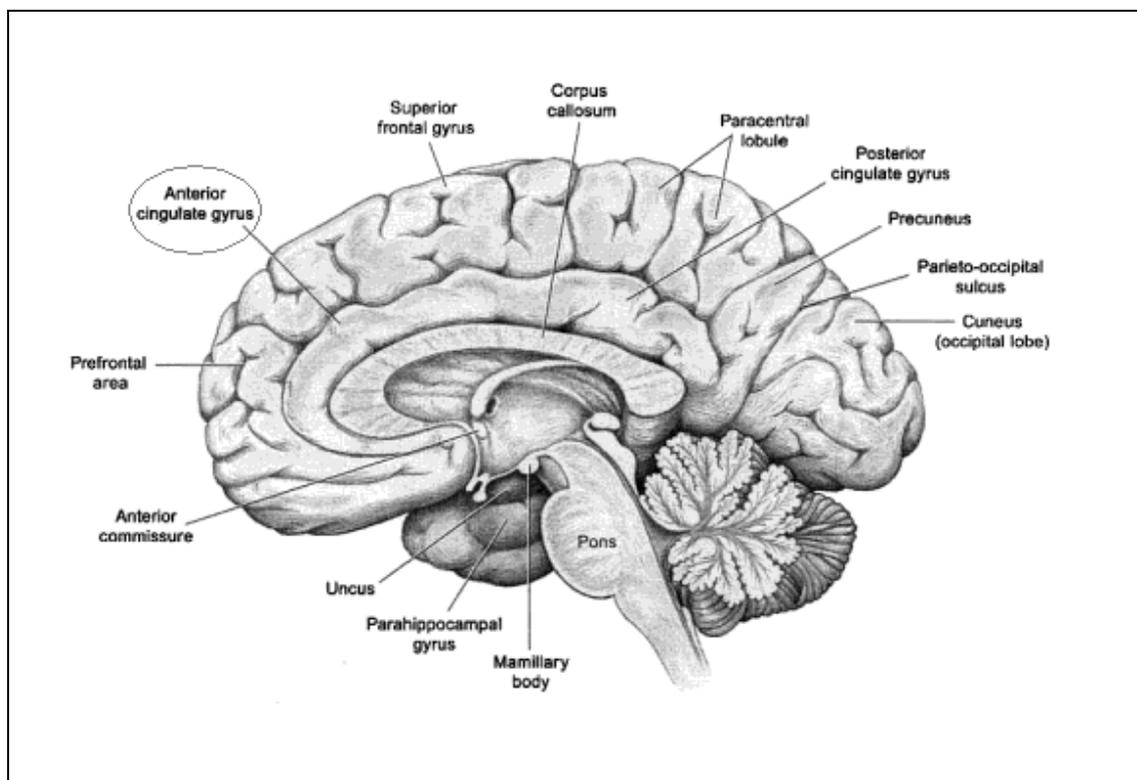


Abb. 1: Cerebrale Gyri und Sulci des menschlichen Gehirns, medialer Cortex. Das anteriore Cingulum (Anterior cingulate gyrus) ist markiert. *Quelle Abbildung:* <http://www.amazon.com/Neurology-Cognitive-Behavioral-Disorders-Devinsky/dp/0195137647#reader>

(Nieuwenhuis et al., 2005). Die Feedback related Negativity (FRN), kann nach der Darbietung von Feedback gemessen werden. Die FRN ist dem ERN sehr ähnlich, erreicht ihren Peak aber erst nach 250 bis 300 Millisekunden (Nieuwenhuis et al., 2005). Die Amplitude des FRN ist nach negativem Feedback größer, als nach positivem Feedback (Nieuwenhuis et al., 2005). Die genauen Quellen des ERN und des FRN bleiben aber noch aktueller Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen (Nieuwenhuis et al., 2005; Taylor et al., 2007).

Es konnte gezeigt werden, dass das dorsale AC sensitiv gegenüber internen (Fehler) und externen (Feedback) Fehlersignalen ist (Holroyd et al., 2004). Besonders die externen Fehlersignale, in Form des Feedbacks, sind für diese Arbeit von Bedeutung. Es gibt mehrere Theorien über die funktionelle Rolle des AC und das Zusammenwirken mit anderen Gehirnregionen im Bezug auf die Fehlerverarbeitung und Verhaltensanpassung. Die folgenden Theorien basieren auf Metaanalysen von fMRT-, EEG- und Läsionsstudien. Die Konflikttheorie nach Ridderinkhof et al. (2004) und Taylor et al. (2007) besagt, dass der posteriore mediale Frontalkortex (FK) zusammen mit dem lateralen Präfrontalkortex (PFK) ein Netzwerk zur Fehlerüberwachung und Regulierung der kognitiven Kontrolle bildet. Der posteriore mediale FK übernimmt dabei die Funktion der Detektion von Antwortkonflikt. Ein hoher Grad an Antwortkonflikt tritt beispielsweise auf, wenn zwei innere Antworttendenzen miteinander konkurrieren, um die wirkliche Antwort zu bestimmen. Es wird angenommen, dass in solchen Situationen die Wahrscheinlichkeit Fehler zu begehen besonders hoch ist (Taylor et al., 2007). Tritt ein Fehler auf, so signalisiert der posteriore mediale FK dem lateralen PFK, dass eine Erhöhung der kognitiven Kontrolle nötig ist (Ridderinkhof et al., 2004; Taylor et al., 2007). Die erhöhte kognitive Kontrolle ist für eine effizientere Bearbeitung der Aufgaben, einer angemessenen Verhaltensanpassung und damit der Vermeidung von künftigen Fehlern notwendig (van Veen and Carter, 2006). Taylor et al. (2007) benennen im medialen FK den dorsalen AC für die Überwachung des Antwortkonflikts und den dorsalen PFK für die Modellierung der kognitiven Kontrolle.

Eine weitere aktuell diskutierte Theorie zur Funktion des AC ist die Verstärkungslernen-Theorie (Reinforcement Learning). Fehler werden als Ereignisse angesehen, die sich als „schlechter als erwartet“ herausgestellt haben. Laut Taylor et al. (2007) reflektiert die Fehlerverarbeitung im posterioren medialen PFK Aktivität in dopaminergen Neuronen des Mittelhirns. Wird eine Belohnungserwartung nicht erfüllt,

so ist eine Reduktion der Aktivität der Dopaminneurone im Mittelhirn feststellbar. Mit der Reduktion der dopaminergen Aktivität im Mittelhirn wird auch der hemmende Einfluss dieser Region auf den dorsalen AC reduziert, dies führt zu einem Anstieg der Aktivierung im dorsalen AC (Taylor et al., 2007).

Eine Metaanalyse von Ridderinkhof et al. (2004) konnte zeigen, dass sich die Aktivierungsorte für die Detektion unvorteilhafter Ereignisse, Antwortfehler, Antwortkonflikt und Entscheidungsunsicherheit überlappen. Dieser Befund stimmt damit überein, dass keiner der vorgestellten Ansätze über die Funktion des AC ausreicht, um alle gefundenen Daten, sowie widersprüchlichen Befunde zu erklären.

Nicht alle Fehler-Studien können Aktivierungen im AC zeigen, die im Zusammenhang mit der Verarbeitung von negativer Rückmeldung stehen (Nieuwenhuis et al., 2005; Marco-Pallares et al., 2007). Dies könnte aber am Stichprobenumfang (Marco-Pallares) oder am verwendeten Paradigma (Nieuwenhuis; Abwandlung des Wisconsin card sorting Tests) liegen.

Nicht so beständig wie der AC werden auch andere Gehirnregionen mit der Fehlerverarbeitung assoziiert. Dazu gehören die bilaterale anteriore Insula, der dorsolaterale PFK, Teile des Thalamus (besonders die Habenula) und das prä-supplementärmotorische Areal (prä-SMA).

1.2 Verarbeitung der affektiven Komponente von Feedback

Beim Erhalt von Feedback können je nach Wertigkeit der Rückmeldung positive oder negative Emotionen ausgelöst werden. Die Stärke der affektiven Komponente des negativen Feedbacks hat dabei großen Einfluss auf das Ausmaß der emotionalen Belastung (Ärger, Enttäuschung, Wut). Die affektive Komponente bzw. die Signifikanz des Fehlers können moduliert werden, wenn beispielsweise sehr viel Wert auf die Genauigkeit der Antwort im Gegensatz zur Geschwindigkeit der Antwort gelegt wird. Auch finanzieller Verlust, der beim Begehen eines Fehlers eintritt oder der Vergleich zu anderen kann die Signifikanz eines Fehlers erhöhen (van Veen and Carter, 2006). Umso stärker die Signifikanz des Fehlers und damit die Konsequenzen beim Begehen des Fehlers, desto höher ist das Ausmaß der emotionalen Belastung. Das spiegelt sich auch in einer erhöhten Amplitude des ERN bei Fehlern mit hoher Signifikanz wieder (van Veen and Carter, 2006; Taylor et al., 2007).

Es wird vermutet, dass bei der Verarbeitung der affektiven Komponente der Rückmeldung das rostrale AC beteiligt ist (Bush et al., 2000). Eine Metaanalyse von Bush et al. (2000) zeigt, dass emotional betonte Aufgaben mehr im rostralen Bereich, Aufgaben mit kognitiver Betonung dagegen mehr in dorsalen Bereich des AC verarbeitet werden. Auch Taylor et al. (2007) postulieren, dass der emotionale Aspekt des Feedbacks vermutlich im rostralen AC verarbeitet wird. Neuroanatomische Befunde unterstützen diese Annahme, der rostrale AC weist mehr anatomische Verbindungen zu Regionen des limbischen Systems auf, als caudale und posteriore Bereiche des AC (Taylor et al., 2007).

Besonders bei der Verarbeitung der affektiven Komponente des Feedbacks spielen Prozesse, die mit der Selbstrelevanz assoziiert sind, eine Rolle. Ist die affektive Wertigkeit des Feedbacks hoch, so hat auch die Konsequenz des Fehlers für das „Selbst“ eine besonders hohe Wichtigkeit. In solch einer Situation hat der Fehler eine hohe Bedeutung für die Selbsteinschätzung und die Beurteilung des „Selbst“ durch andere. Bei der Bewertung und Einschätzung von Eigenschaften und Fähigkeiten die das „Selbst“ betreffen, werden besonders Gehirnregionen im medialen Präfrontalkortex (PFK) und im lateralen PFK aktiviert (Ochsner et al., 2005). Auch Fossati et al. (2003) findet Aktivierungen in diesen Gehirnregionen im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Informationen mit Selbstbezug. Es werden den Autoren zufolge emotionale Stimuli im persönlichen Kontext verarbeitet.

Eine weitere Gehirnregion die mit der Verarbeitung der emotionalen Komponente des Feedbacks assoziiert wird, ist die anteriore Insula. Vorrangegangene Studien konnten eine Beteiligung der anterioren Insula bei der Verarbeitung von negativ besetzten Emotionen (Singer and Lamm, 2009) und der Bewertung von emotionalen Stimuli (Ullsperger and von Cramon, 2003) zeigen.

1.3 Effekt der Entwicklung des Gehirns auf die Feedbackverarbeitung

Insgesamt haben nur wenige Studien die Thematik der Feedbackverarbeitung bei Kindern untersucht. Im Folgenden soll auf die neurale Entwicklung feedbackverarbeitender Netzwerke im Gehirn auf Grundlage einer Studie von van Duijvenvoorde et al. (2008) eingegangen werden. Die in dieser Studie behandelten Gehirnregionen, die an der Verarbeitung von negativem Feedback beteiligt sind, umfassen den dorsolateralen PFK, den AC, die prä-SMA und den superioren parietalen

Kortex. Diese Regionen erfahren während der Entwicklung funktionelle und strukturelle Veränderungen. Kinder der Altersgruppe 10 bis 13 Jahre zeigen im dorsolateralen PFK und im superioren Parietalkortex keine Sensitivität gegenüber negativem und positivem Feedback. Aktivierungen im prä-SMA und AC nach negativem Feedback, konnten bei Erwachsenen und 10 bis 13 jährigen, nicht aber bei 8 bis 9 jährigen beobachtet werden. Die 8 bis 9 jährigen zeigten dafür Aktivierungen im dorsolateralen PFK und im superioren Parietalkortex nach dem Erhalt von positivem Feedback im Vergleich zu negativem Feedback. Bei Erwachsenen wurden diese Aktivierungen nach negativer Rückmeldung gefunden. Die Autoren postulieren, dass ein entwicklungsbedingter Übergang der Feedbacksensitivität im Alter von 8 bis 12 Jahren stattfindet und in diesem Zeitraum der Einfluss von negativem Feedback auf die Verhaltensanpassung zunimmt. Die Verfasser der Studie beziehen sich auf andere Studien aus denen hervorgeht, dass Kinder im dorsolateralen PFK und im superioren parietalen Kortex unreife Aktivierungsmuster im Zusammenhang mit kognitiven Funktionen, wie dem Arbeitsgedächtnis, aufweisen. Diese Strukturen sind noch nicht völlig zugänglich und auch strukturell noch unreif, eine Zunahme der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist in einem Alter von 8 bis 9 Jahren festzustellen. Nach van Duijvenvoorde et al. (2008) kann sich diese Unreife bei 8 bis 9 jährigen auf die Sensitivität gegenüber dem informativen Gehalt von negativem Feedback auswirken. Begründet wird diese Annahme damit, dass die Verarbeitung und anschließende Verhaltensanpassung auf Grundlage von negativem Feedback eine größere Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beansprucht. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass negatives Feedback einen unterschiedlichen informativen Wert für 8 bis 9 jährige im Vergleich zu 10 bis 13 jährigen und Erwachsenen hat. Es fällt 8 bis 9 jährigen schwerer von negativem Feedback zu lernen, positives Feedback hat für diese Altersgruppe einen höheren informativen Gehalt. 11 bis 13 jährige lernen von Konfliktsignalen, eines allgemeinen Leistungsüberwachungssystems. Erwachsene lernen dagegen vom informativen Gehalt von positivem und negativem Feedback. Die Studie gibt jedoch (auch aufgrund des Paradigmas) keine Hinweise auf Entwicklungsunterschiede in emotionalen Netzwerken die an der Verarbeitung von negativem Feedback beteiligt sind (van Duijvenvoorde et al., 2008).

Für die Einordnung der, in der vorliegenden Studie, gefundenen Ergebnisse muss trotz der entwicklungsbedingten Unterschiede in der Feedbackverarbeitung (van

Duijvenvoorde et al., 2008) auf Literatur zurückgegriffen werden, die auf Untersuchungen mit Erwachsenen basieren. Es gibt erst sehr wenige Studien zur Fehlerverarbeitung bei Kindern.

1.4 Hypothesen

In dieser Arbeit werde ich mich mit einem Teil, der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten, fMRT-Studie beschäftigen. Kinder im Alter zwischen 10 und 13 Jahren erlernten die Regeln einer Pseudo-Chemie-Aufgabe und lösten diese im Magnetresonanztomographen. Sie erhielten Feedback mit verschiedenen affektiven (emotionalen) Wertigkeiten. Es gab eine umfassende Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Chemie-Didaktik und Lehrern der Kinder. In dem von mir behandelten Teil der vorliegenden Studie sollen die neuronalen Korrelate und die Verhaltensdaten (Reaktionszeiten und Antwortgenauigkeit) bei der Verarbeitung von negativem Feedback untersucht werden. Dabei soll gezeigt werden, welche Effekte die affektive Wertigkeit von negativem Feedback auf Verhaltensdaten und auf die neuronalen Korrelate haben kann. Zusätzlich wurde ein Fragebogen für die Evaluation der affektiven Wirkung des Feedbacks eingesetzt. Im folgenden Abschnitt werden die Hypothesen und Erwartungen kurz vorgestellt.

1.4.1 Hypothesen für die Verhaltensdaten

Im Rahmen dieser Arbeit sollen eventuelle Unterschiede bei den Mittelwerten der Reaktionszeiten und dem Anteil falscher Antworten in Abhängigkeit des Feedbacks untersucht werden. Es wurde ein Fehleranteil um die 30% angestrebt, auf diese Weise können für die Analysen genügend negative Feedbackereignisse erhalten werden ohne gleichzeitig die Kinder während der Untersuchung zu stark zu demotivieren.

Es wird angenommen, dass der Anteil falscher Antworten und die gemittelte Reaktionszeit in den Trials nach dem Erhalt von negativem Feedback zunehmen. Auch im Zusammenhang mit Trials in denen die Kinder die Aufgabe nicht korrekt lösen konnten, wird ein Anstieg der mittleren Reaktionszeit vermutet. Vergleichbare Ergebnisse erzielten unter anderem van Duijvenvoorden et al. (2008). Die Autoren führten die Beobachtungen auf ein höheres Maß an Unsicherheit und Antwortkonflikt zurück. Der Effekt der Unsicherheit und des Antwortkonflikts könnten von der affektiven Wertigkeit des Feedbacks beeinflusst werden. Es kann vermutete werden,

dass die negative Feedbackbedingung mit hoher affektiver Wertigkeit (im Vergleich zur Bedingung mit niedriger affektiver Wertigkeit) die zuvor beschriebenen Effekte auf die Verhaltensdaten verstärkt.

1.4.2 Hypothesen für die MR-Daten

Es sollen die neuronalen Korrelate, die mit der Verarbeitung von negativem Feedback assoziiert sind, analysiert werden. Auch soll die Wirkung der affektiven Wertigkeit des negativen Feedbacks auf die neuronalen Korrelate gezeigt werden. Bei negativem Feedback, im Vergleich zu positivem Feedback, werden Aktivierungen in Gehirnregionen erwartet, die mit der Fehler- und Feedbackverarbeitung im Zusammenhang stehen. Dazu gehören der mediale Frontalkortex, besonders das AC und angrenzende Bereiche (prä-SMA), die bilaterale anteriore Insula, der Epithalamus und der laterale Präfrontalkortex. Die aufgezählten Gehirnregionen wurden relativ beständig in mehreren Studien im Zusammenhang mit Fehlerverarbeitung gefunden (Carter et al., 1998; Bush et al., 2000; Hester et al., 2004; Holroyd et al., 2004; Ridderinkhof et al., 2004; Taylor et al., 2007).

Für das negative Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit im Vergleich zum negativen Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit werden Aktivierungen in Arealen vermutet, die besonders an der Verarbeitung des emotionalen Aspekts des Feedbacks beteiligt sind. Bush et al. (2000) vermuten, dass der rostrale Teil des AC an der Verarbeitung der emotionalen Komponente des Feedbacks beteiligt ist. Aufgrund der Bewertungsfunktion der anterioren Insula (Ullsperger and von Cramon, 2003) ist auch eine Aktivierung in dieser Region denkbar. Auch können Aktivierungen in Gehirnregionen erwartet werden, die an der Verarbeitung von Informationen mit Selbstbezug beteiligt sind (Fossati et al., 2003).

Bei negativem Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit im Vergleich zu negativem Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit werden keine signifikanten Aktivierungen erwartet.

2 Methoden

Im Folgenden Abschnitt findet eine kurze Einführung und Erläuterung der Fachtermini bezüglich der Magnetresonanztomographie (Jäncke, 2005) statt. Anschließend wird auf die Methodik der vorliegenden Studie eingegangen. Die Beschreibung der Methodik wird sich auf die Teile beschränken, die für diese Bachelorarbeit relevant sind. Es findet eine Beschreibung der Probanden, des Untersuchungsparadigmas, des Aufgabendesigns, des Ablaufs der Testung, der Scannereinstellung und des Fragebogens zur Bewertung des Feedbacks statt. Im letzten Teil wird ein Überblick über die Auswertung der Verhaltensdaten, der mit dem Magnetresonanztomographen (MRT) erhobenen Daten und des Fragebogens gegeben.

2.1 Einführung in die Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Bei der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) werden neurophysiologische Veränderungen gemessen, um Rückschlüsse auf aktive Gehirnareale ziehen zu können. Es handelt sich um ein bildgebenes, nicht-invasives Verfahren. Mit der Magnetresonanztomographie kann eine sehr gute räumliche Auflösung erzielt werden. Die zeitliche Auflösung ist, bedingt durch die Signalentstehung, weniger gut. Der Magnetresonanztomograph erzeugt starke Magnetfelder mit deren Hilfe H^+ -Protonen in den Molekülen des Gewebes angeregt werden. Die so angeregten Protonen erzeugen, durch Wechselwirkungen mit einer Empfangsspule, das MR (Magnetresonanz)-Signal. Da die Anregung der Protonen abklingt, zerfällt auch das MR-Signal nach ca. 100 bis 300 Millisekunden. Die Messungen finden schichtenweise statt, dabei kann die Dicke der Schichten variiert werden. Ein Würfel oder Quader einer solchen Schicht wird als Voxel bezeichnet.

Es gibt mehrere MR-Messmethoden, die in unserer Studie verwendete ist die EPI (Echoplanar Imaging) – Sequenz, sie zeichnet sich durch eine kurze Messdauer und ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis aus. Mit nur einer Anregung kann bereits ein Bild mit relativ hoher Auflösung aufgenommen werden. Nachteile dieser Messsequenz sind jedoch, dass Magnetfeldinhomogenitäten nicht ausgeglichen und sogar erzeugt werden können. Dies kann die Bildqualität negativ beeinflussen. Des Weiteren entsteht eine hohe Lärmbelastung und Gehörschutz ist unbedingt notwendig. (Jäncke, 2005) Das MR-Signal besteht aus mehreren Frequenzkomponenten. Die Zusammensetzung des Signals ist abhängig von den Eigenschaften des Gewebes, je nach Aufbau der Moleküle

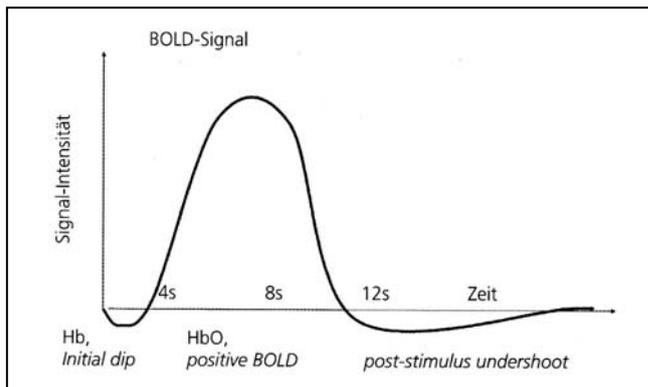


Abb. 2: Schematische Darstellung des Verlaufs eines BOLD-Signals. Die Anfangsphase, der „Initial dip“ ist ein Signalabfall der vermutlich durch die anfangs erhöhte Konzentration an Deoxyhämoglobin verursacht wird. Nach 4 bis 6 Sekunden ist die maximale BOLD-Reaktion zu verzeichnen. Der post-Stimulus undershoot ist nach ca. 10 Sekunden messbar. Abbildung übernommen aus (Jäncke, 2005), S. 82

verändert sich die spektrale Zusammensetzung des MR-Signals. Bei funktionellen Aufnahmen hat die lokale Oxygenierung (Sauerstoffgehalt) des Blutes Einfluss auf die Signalstärke. Desoxygeniertes Blut (niedriger Sauerstoffgehalt) ist paramagnetisch und verringert, im Vergleich zu oxygeniertem Blut, die MR-Signalintensität. Die Oxygenierung des Blutes

ändert sich in Abhängigkeit des Blutstroms und der metabolischen Aktivität der kortikalen Areale. Bei neuronaler Aktivität steigt der Metabolismus der Nervenzellen und damit der regionale cerebrale Blutfluss um den erhöhten Sauerstoffverbrauch zu decken. Dieser physiologische Vorgang wird als hämodynamische Reaktion bezeichnet. Bei der Zunahme des Blutflusses ist eine Latenz von wenigen Sekunden zu verzeichnen. Es findet ein Überangebot an sauerstoffreichen Blut im aktiven kortikalen Areal statt, die erhöhte Konzentration an oxygeniertem Blut führt zu einem Signalanstieg. Es wird für jedes Voxel ein Grauwert berechnet, der die Intensität des Signalanstiegs angibt. Dieser Signalanstieg wird als BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) – Antwort beschrieben und weist einen charakteristischen Verlauf (siehe Abb. 2) auf. Die maximale BOLD-Antwort ist aufgrund der ablaufenden physiologischen Prozesse (Latenz der Erhöhung des Durchstroms) erst ca. 4 bis 6 Sekunden nach Stimulation messbar, darin begründet sich die schlechte zeitliche Auflösung bei fMRT-Messungen. Des Weiteren muss ein geeignetes Interstimulusintervall (Zeitraum zwischen zwei experimentellen Stimuli) gewählt werden, um zu starke Signalüberlagerungen zu vermeiden. Auf Grundlage des MR-Signals ist es schließlich möglich räumliche Informationen zu berechnen und damit Hinweise auf die Aktivierungsorte im Gehirn zu geben. Folglich ist die funktionelle Magnetresonanztomographie eine Methode zur indirekten Messung von Gehirnaktivität. (Für Details siehe (Jäncke, 2005))

2.2 Probanden

Es nahmen insgesamt 68 Kinder im Alter von 10 bis 13 Jahren an der Studie teil. Die Kinder besuchten die 5ten und 6ten Klassen der Gymnasien Rhauderfehn und Friesoythe (Niedersachsen, Deutschland).

Es wurden Erkrankungen (neurologische und psychische) und medikamentös bedingte Zustände für alle Teilnehmer der Studie ausgeschlossen, die Einfluss auf den Blutstrom in Gehirn und auf das Erleben und Verhalten haben könnten. Alle Kinder waren rechtshändig und eventuell vorhandene Sehstörungen konnten mit Hilfe MRT-kompatibler Brillen korrigiert werden. Die Eltern gaben eine schriftliche Erklärung ab, mit der sie bestätigten, dass sie und ihr Kind über den Ablauf und Risiken der Studie aufgeklärt worden sind. Nach Ausschluss aller Kriterien, die gegen eine Messung im Magnetresonanztomographen sprechen (vgl. 7.1, S. 54), gaben die Erziehungsberechtigten eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Oldenburg geprüft und genehmigt. Für ihre freiwillige Teilnahme wurden die Kinder mit Kinogutscheinen entlohnt.

Von den insgesamt 68 erhobenen Datensätzen wurden 36 (16 Mädchen und 20 Jungen, Alter 10-12; Mittelwert (M) = 11 ± 1 Jahr) ausgewählt und Gegenstand dieser Arbeit.

2.3 Untersuchungsparadigma

Das Untersuchungsparadigma stellte eine „Pseudo-Chemieaufgabe“ mit Präsentation einer zweiteiligen Rückmeldung dar. Das Paradigma bestand aus der Darbietung eines Verbindungsnamens (visuell und akustisch) und zwei Strukturformeln von denen nur eine dem Verbindungsnamen entsprach. Um das Paradigma kindgerecht zu gestalten, wurden die Verbindungen als Zutaten für Zaubertränke dargestellt (siehe 7.2, S.55). Es handelte sich um rein fiktive Verbindungen. Der Aufbau der Verbindungsnamen und der Strukturformeln, war an Regeln und Nomenklatur der Chemie angelehnt (siehe Abb. 3).

Per Tastendruck mit dem Zeige- oder Mittelfinger der rechten Hand, sollten die Kinder sich entscheiden welche der beiden Strukturformeln dem Verbindungsnamen korrekt zugeordnet werden konnte. Im Training wurde ein nachgebautes Tastendruckgerät verwendet. In der späteren Untersuchung im MR wurde dagegen ein speziell für den Gebrauch im Magnetresonanztomographen entwickeltes, Tastendruckgerät, das LUMItouch (Photon Control Inc., Burnaby, Kanada) verwendet.

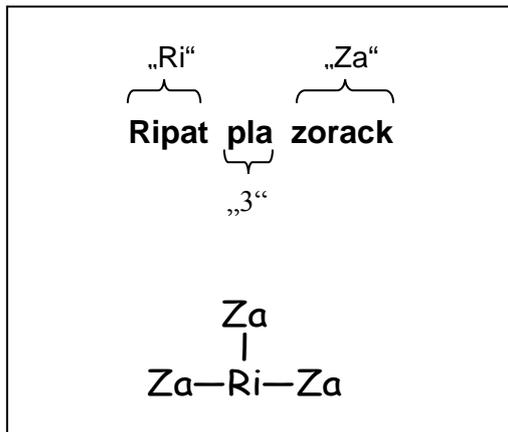


Abb. 3: Beispiel eines Pseudo-Verbindungsnamens und der dazugehörigen Pseudo - Strukturformel. Der Verbindungsname ist aus den beiden Stoffnamen (Ripat und Zorack) und einem Zahlwort (pla) aufgebaut.

Das Feedback bestand aus einem großen Smilie im Vordergrund, der die individuelle Leistung des Teilnehmers widerspiegelte und einer weiteren Komponente, die die affektive Wertigkeit des Feedbacks modifizieren sollte. Hatte ein Kind den Verbindungsnamen richtig zugeordnet, so erschien ein grüner lächelnder Smilie. Bei einer falschen Antwort wurde ein roter trauriger Smilie gezeigt. Für die Manipulation der affektiven Wertigkeit des Feedbacks, wurde nach einer kurzen Verzögerung

zusätzlich ein Feedback über die Performance einer Peergroup (Kinder der gleichen Altersklasse) präsentiert. Dargestellt wurde diese als eine Gruppe von drei kleineren Smilies im Hintergrund. Die Kinder wurden vor der Testung darüber informiert, dass die Peergroup für das Abschneiden bereits getesteter Kinder steht. Das Feedback der Peergroup basierte jedoch nicht auf real erhobten Daten.

Die Feedbackbedingung sollte eine hoch affektive Wirkung haben (hohe affektive Wertigkeit), wenn sich das Abschneiden der Versuchsperson von dem der Peergroup unterschied. Der Teilnehmer konnte besser abschneiden als die Peers oder schlechter. War das Abschneiden der Versuchsperson und der Peergroup gleich, so sollte diese Bedingung niedrig affektiv wirken (niedrige affektive Wertigkeit). Die Rückmeldung über die Leistung der Peergroup wurde pseudo-randomisiert dargeboten. Die Präsentation erfolgte zufällig, bis auf die Bedingung, dass innerhalb eines Messdurchgangs sich die Leistung der Versuchsperson gleich häufig von der Leistung der Peergroup unterschied beziehungsweise nicht unterschied. Damit wurde den Kindern zu gleichen Anteilen Feedback mit hoher und niedriger affektiver Wertigkeit dargeboten. Die Rückmeldung über das Abschneiden der Peergroup wurde ähnlich gestaltet, wie das Feedback über die individuelle Leistung. Hatten die meisten anderen Kinder (Peergroup) die Aufgabe richtig gelöst, waren die drei kleinen Smilies grün und lächelten, lösten die meisten anderen Kinder die Aufgabe falsch, waren sie rot und hatten einen traurigen Gesichtsausdruck. Durch die Variation der Stärke der affektiven

Komponente der Rückmeldung ergaben sich insgesamt vier verschiedene Feedbackarten mit zwei Feedbackbedingungen und zwei affektiven Bedingungen (siehe Abb. 4).

Es wurde ein Ereignis-korreliertes-Design (Event-Related-Design) verwendet. Bei diesem Design werden die experimentellen Stimuli randomisiert (hier pseudo-randomisiert) dargeboten, durch die Wahl geeigneter Interstimulusintervalle kann für jede Stimulusklasse eine mittlere hämodynamische Reaktion berechnet werden (Jäncke, 2005). Bei diesen Messungen betrug das Interstimulusintervall 2 bis 18 Sekunden.

Die Aufgaben wurden auf einen, in der Messröhre angebrachten, Schirm projiziert. Der Versuchsteilnehmer konnte über eine Spiegelkonstruktion die Aufgaben betrachten. Die akustische Darbietung des Verbindungsnamens fand über MR-kompatible Kopfhörer (MR confon GmbH, Magdeburg, Deutschland) statt.

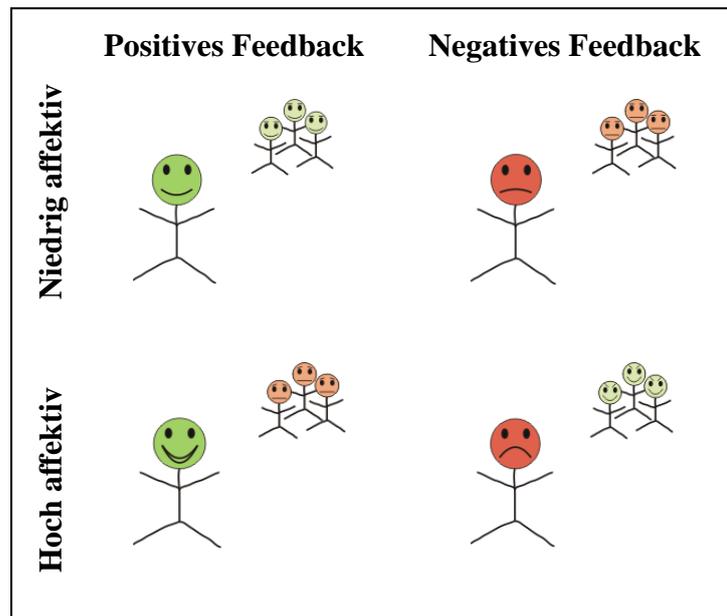


Abb. 4: Es sind die vier Feedbackarten, die im Paradigma verwendet wurden, dargestellt. Zwei Feedbackbedingungen positives und negatives Feedback und zwei affektive Bedingungen, hoch und niedrig affektiv. Der große Smilie links im Vordergrund steht für die Leistung des Probanden beim Lösen der vorhergegangenen Aufgabe. Die drei kleineren Smilies rechts im Hintergrund werden verzögert eingeblendet und spiegeln das Abschneiden einer Peergroup (andere Kinder der gleichen Altersgruppe) wieder.

2.4 Aufgabendesign

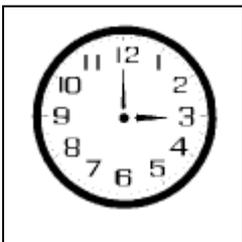


Abb. 5: Uhr, die eingeblendet wird, wenn zu langsam geantwortet wurde.

Auf den Bildschirm erschien zunächst ein weißes Quadrat auf grauem Hintergrund. In der Mitte des Quadrats befand sich ein schwarzes Fixationskreuz, das während des gesamten Trials sichtbar blieb. Zu Beginn eines Trials wurden gleichzeitig der Verbindungsname und darunter beide Formeln auf den Bildschirm gezeigt. Der Verbindungsname wurde zusätzlich akustisch dargeboten. Verbindungsname und –formel wurden für

4,5 Sekunden dargeboten. Eine Sekunde zusätzlicher Antwortzeitraum stand nach Ausblenden der Formeln zur Verfügung. Antwortete die Versuchsperson nicht innerhalb des Antwortzeitraums (5,5 Sekunden) per Tastendruck, so erschien eine Uhr auf dem Bildschirm (siehe Abb. 5). Trials in denen nicht rechtzeitig geantwortet wurde, wurden als Auslasser gewertet und konnten nicht in die spätere Analyse mit einfließen. Somit war es wichtig, möglichst wenige Auslasser pro Teilnehmer zu erhalten. Die Uhr sollte zu einer schnelleren Antwort im nächsten Trial animieren. Es folgte ein Jitter (variabler Zeitraum) mit einer Dauer von 2 bis 18 Sekunden, der eine feste zeitliche Beziehung zwischen Stimulusdarbietung und EPI-Aufnahme verhindern sollte (Jäncke, 2005).

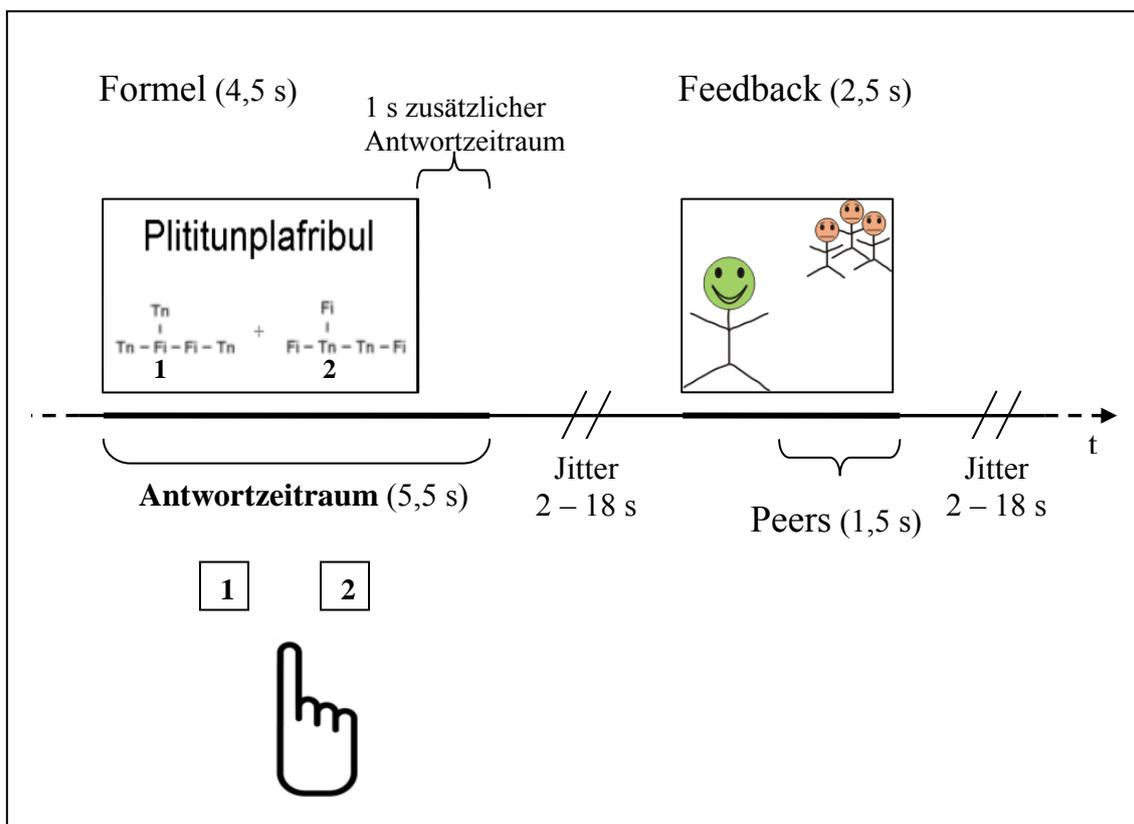


Abb. 6: Schematisch dargestellt ist der zeitliche Ablauf eines Trials des Untersuchungsparadigmas. Nach Ausblenden des Verbindungsnamens und der beiden Strukturformel (nach 4,5 Sekunden), stand noch eine weitere Sekunde zur Antwort per Tastendruck (Quadrate 1 und 2) zur Verfügung. Zwischen Präsentation der Aufgabe, des Feedbacks und dem Beginn des nächsten Trials lagen variable Zeiträume (Jitter) von 2 bis 18 Sekunden. Nachdem das individuelle Feedback für 1 Sekunde gezeigt wurde, wurde zusätzlich das Feedback der Peergroup für 1,5 Sekunden eingeblendet. Grafik der Hand verändert, *Quelle:* <http://www.designofsignage.com/application/symbol/hands/largesymbols/press-button-2.html>

Während des Jitters war nur das weiße Quadrat und das Fixationskreuz auf dem Bildschirm zu sehen. Anschließend wurde das, der Performance entsprechende individuelle Feedback für 2,5 Sekunden gezeigt. Nach einer Sekunde wurde zusätzlich die Rückmeldung über die Performance der Peergroup für die Dauer von 1,5 Sekunden präsentiert. Nach einem weiteren Jitter (2 bis 18 Sekunden) begann ein neuer Trial. Es wurden insgesamt zwei Durchgänge á 40 Trials mit einer Dauer von jeweils 14,6 Minuten durchgeführt.

Für die Erstellung und Präsentation des Paradigmas wurde die Software MATLAB, Version 6.5 (Matrix Laboratory; MathWorks Inc., Sherborn, USA) verwendet. Die Reizdarbietung und –erstellung fand mit Hilfe der Software MATLAB-Toolbox Cogent (Cogent 2000, Wellcome Laboratory of Neurobiology, London, Großbritannien) statt. Des Weiteren wurden die experimentelle Parameter und Verhaltensleistungen dokumentiert. Im Rahmen dieser Arbeit werden neben den MR-Daten auch die Reaktionszeiten (Zeitraum vom Einblenden der Aufgabe bis zum Tastendruck) und die prozentualen Anteile falscher Antworten (Antwortgenauigkeit) behandelt.

2.5 Scannereinstellungen

Zu Beginn der Messungen fand mit Hilfe eines Localizers (eine kurze Messsequenz) eine Bestimmung der Lage des Kopfes statt, um eine optimale Ausrichtung der Messschichten im Scannbereich zu erzielen. Der Scannbereich umfasste das Großhirn, sowie den oberen Teil des Cerebellums (Kleinhirn). Im Anschluss wurde mit dem ersten Messdurchgang begonnen und die funktionellen Aufnahmen mit Hilfe einer EPI-Sequenz (T2*-gewichtete Bilder) aufgenommen. Die Messung fand in aufsteigender Reihenfolge mit 30 Schichten, bei einer Schichtdicke von 3 mm und einem Schichtabstand von 0,6 mm statt. Insgesamt wurden je Session 408 Aufnahmen aufgezeichnet.

Als Sequenzparameter wurde eine TR (Time of Repetition), die Zeit zwischen zweier Anregungen derselben Schicht, von 2 Sekunden und eine TE (Time to Echo), die Zeit nach Anregung bis zur Messung des MR-Signals, von 50 Millisekunden gewählt. Die Voxelgröße betrug bei diesen Messungen 3x3x3 mm.

Nach Beendigung der beiden Messdurchgänge wurden die hoch auflösenden anatomischen Aufnahmen (T1-gewichtet) mit einer Voxelgröße von 1x1x1 mm gemacht.

2.6 Fragebogen zur Wirkung des Feedbacks

Die Kinder erhielten den Fragebogen nach Abschluss der Messungen im Scanner (siehe 7.3, S. 66). Zu jeder der vier Feedbackarten (siehe Abb.4) sollten die Kinder eine Einschätzung darüber abgeben wie sie die jeweilige Rückmeldung empfunden haben. Bei positivem Feedback wurde gefragt wie sehr sich die Kinder *gefremt* haben wenn sie diese Rückmeldung erhalten haben. Bei negativem Feedback wurde dagegen gefragt, wie sehr sie sich *geärgert* haben. Zu jeder Frage standen den Kindern fünf mögliche Antworten zur Auswahl:

- ich habe mich **gar nicht** geärgert/gefremt
- ich habe mich **ein wenig** geärgert/gefremt
- ich habe mich **mittelmäßig** geärgert/gefremt
- ich habe mich **ziemlich** geärgert/gefremt
- ich haben mich **sehr doll** geärgert/gefremt

Es sollte nur jeweils eine Möglichkeit angekreuzt werden.

2.7 Datenauswertung

Im Folgenden sollen die Schritte der Auswertung der Verhaltensdaten und der MR-Daten kurz dargestellt werden.

2.7.1 Auswertung der Verhaltensdaten

In die Auswertung des Anteils falscher Antworten und der Reaktionszeit wurden Trials in denen nicht schnell genug geantwortet wurde (Auslasser) nicht mit einbezogen. Von den Daten der verbliebenen Trials wurden für jede Versuchsperson Mittelwerte errechnet, auf diesen Werten basieren alle weiteren Analysen bezüglich der Verhaltensdaten. Für die Berechnung der Mittelwerte und anschließende statistische Auswertung wurde die Software SPSS, Version 15.0 (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, USA) verwendet. Es wurden t-Tests für abhängige Stichproben (zweiseitig, $p < .05$, unkorrigiert) durchgeführt. Ziel der Analysen war es eventuelle Unterschiede der Mittelwerte der Verhaltensdaten (Reaktionszeit und Anteil falscher Antworten) in Abhängigkeit der Feedbackbedingung und der affektiven Wertigkeit des Feedbacks aufzuzeigen.

Es wurde der Unterschied in den Mittelwerten der Reaktionszeit bei richtiger vs. bei falscher Antwort geprüft. Zusätzlich wurden die folgenden Nachfolge-Effekte überprüft:

- Anteile falscher Antworten nach negativen vs. nach positiven Feedback
- Anteile falscher Antworten nach negativem Feedback mit hoch affektiver Wertigkeit vs. nach negativem Feedback mit niedrig affektiver Wertigkeit
- Anteile falscher Antworten nach positivem Feedback mit niedrig affektiver Wertigkeit vs. nach positivem Feedback mit hoch affektiver Wertigkeit
- gemittelte Reaktionszeit nach negativen vs. nach positiven Feedback
- gemittelte Reaktionszeit nach positivem Feedback mit hoch affektiver Wertigkeit vs. nach positivem Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit
- gemittelte Reaktionszeit nach negativem Feedback mit hoch affektiver Wertigkeit vs. nach negativem Feedback mit niedrig affektiver Wertigkeit

2.7.2 MR-Datenauswertung

Die MR-Datenauswertung fand mit SPM 5 (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, Großbritannien) statt. Es wurde die Vorverarbeitung, sowie mit dem allgemeinen linearen Modell (ALM) die anschließende statistische Auswertung der Daten durchgeführt. Ziel der statistischen Auswertung war es festzustellen, ob sich Aktivierungen zwischen den Bedingungen unterscheiden und in welchen Gehirnregionen sich diese Unterschiede befinden.

Vorverarbeitung der MR-Daten

Die Vorverarbeitung der Daten umfasste fünf Schritte und ermöglichte eine weiterführende statistische Auswertung und grafische Darstellung der Datensätze. Die Vorverarbeitungsschritte werden im Folgenden kurz erläutert. (Jäncke, 2005)

Bewegungskorrektur

Es können trotz Fixation des Kopfes, in der Kopfspule, Translations- und Rotationsbewegungen auftreten. Die Bewegungskorrektur (Realignment und unwarp) diente der Beseitigung von diesen und anderen Bewegungsartefakten. Zusätzlich wurde versucht, durch Bewegungen verursachte Magnetfeldinhomogenitäten zu korrigieren. Die „unwarp“-Option sollte geometrische Verzerrungen des Gehirns, die in Abhängigkeit der Position des Kopfes bei den EPI-Aufnahmen auftreten, ausgleichen.

Für die weitere Auswertung, musste sichergestellt werden, dass jedes Voxel über den Verlauf des Experiments der gleichen anatomischen Struktur zugeordnet wurde.

Coregistrieren

Beim Coregistrieren wird die anatomische Aufnahme des Gehirns dem Mittel der funktionellen Bilder, die bereits den ersten Verarbeitungsschritt durchlaufen haben, angepasst.

Zeitliche Korrektur

Da die Aufnahmen schichtweise stattfanden, ergab sich ein zeitlicher Versatz der gemessenen Schichten. Die erste Schicht wurde zu einem früheren Zeitpunkt angeregt als die letzte Schicht. Für die weiteren Analysen war es aber wichtig annehmen zu können, dass die Signale jeder Schicht eines Messvolumens zum selben Zeitpunkt aufgenommen wurden. Die zeitlichen Unterschiede wurden durch die zeitliche Korrektur (Slice Timing) ausgeglichen. Es diente die mittlere (16te) Schicht als Referenzschicht, zu der jede weitere Schicht um die zeitliche Differenz korrigiert wurde.

Räumliche Normalisierung

Aufgrund der starken anatomischen Unterschiede neuronaler Strukturen von Individuen ist für einen Vergleich, über den einzelnen Probanden hinaus, ein Angleichen der Hirnstrukturen nötig. Mit Hilfe der räumlichen Normalisierung (Spatial Normalisation) wurde versucht zu erreichen, dass definierte Voxel unterschiedlicher Probanden die gleichen Hirnstrukturen repräsentieren. Als Referenz diente das MNI (Montreal Neurological Institute)-Template von SPM, welches ein aus 152 gemitteltes Standardhirn ist. Jedes individuelle Gehirn wurde an das Template durch Streckung und Stauchung angepasst.

Räumliche Glättung

Da die hämodynamischen Reaktionen eine bestimmte räumliche Ausdehnung haben, sind die gemessenen Veränderung in einem Voxel nicht unabhängig von den ihn umgebenden Voxeln. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern, wurde bei der räumlichen Glättung (Smoothing) für jeden Voxel ein neuer Grauwert berechnet. Bei der Berechnung fließen die Werte der Nachbarvoxel mit ein, die Gewichtung entspricht dabei einer Gauß-Verteilung (Normalverteilung). Dieser letzte Schritt der Vorverarbeitung war besonders für die Gruppenanalyse (Second Level) wichtig, da bei höheren kognitiven Funktionen (wie Feedbackverarbeitung) die Aktivierungsorte sich

von Person zu Person stärker unterscheiden können als das es bei primären Arealen der Fall ist. Bei der räumlichen Glättung wurden die aktivierten Cluster „verwischt“.

Zusätzlich zu der zuvor beschriebenen Vorverarbeitung wird eine zeitliche Filterung durchgeführt. Es wurde ein Hochpass-Filter mit einer Frequenz von 128 Sekunden pro Schwingung angewendet, um eventuell auftretende, nicht physiologisch begründete, Signalveränderungen „herauszufiltern“.

Statistische Auswertung

An die Vorverarbeitung und zeitliche Filterung schließt sich die modellbasierte Auswertung mit dem allgemeinen linearen Modell an. Die modellbasierte Auswertung lässt sich in First und Second Level Analyse unterteilen.

Die First Level Analyse findet auf Ebene jeder einzelnen Versuchsperson statt. Bei diesem statistischen Verfahren wird das experimentelle Paradigma als allgemeines lineares Modell definiert. Mit Hilfe des Modells wurde eine Zeitreihe (Signalverlauf in jedem Voxel) vorhergesagt und mit dem tatsächlichen Signalverlauf korreliert. Das Modell lässt sich wie folgt als lineare Gleichung beschreiben (*siehe Formel I*):

$$Y_j = X_j * \beta_j + \varepsilon \quad (I)$$

Y beschreibt den vorhergesagten Wert zum Zeitpunkt j. X steht für die Modellparameter (Designmatrix), das Regressionsgewicht (Betagewicht) wird durch β symbolisiert und ε beschreibt den unsystematischen Fehler.

Umso kleiner der Fehler ε ist, umso mehr Varianz wird vom Modell erklärt. Ist der Zusammenhang zwischen vorhergesagtem und wirklichem Signalverlauf signifikant (Regressionsanalyse), so kann angenommen werden, dass diese Voxel in Gehirnarealen liegen, die dem Paradigma entsprechende Signaländerungen aufzeigen. (Jäncke, 2005)

Die First Level Analyse lässt sich in drei Teilschritte gliedern:

- 1) Modell wird spezifiziert
- 2) Modell wird voxelweise geschätzt
- 3) Berechnung der Kontraste

Im ersten Teilschritt wird die Design-Matrix X spezifiziert. Es werden Regressoren eingesetzt, die für die experimentell induzierte Ereignisse (Stimuli) stehen. Sie sollen einen möglichst großen Teil der Varianz erklären und sind Grundlage zur Bildung der

Kontraste. Nach Beendigung dieses Analyseschritts erhält man eine Grafik der Designmatrix, die das Auftreten der verschiedenen Stimuli über den zeitlichen Verlauf der Messung darstellt (siehe Abb. 7).

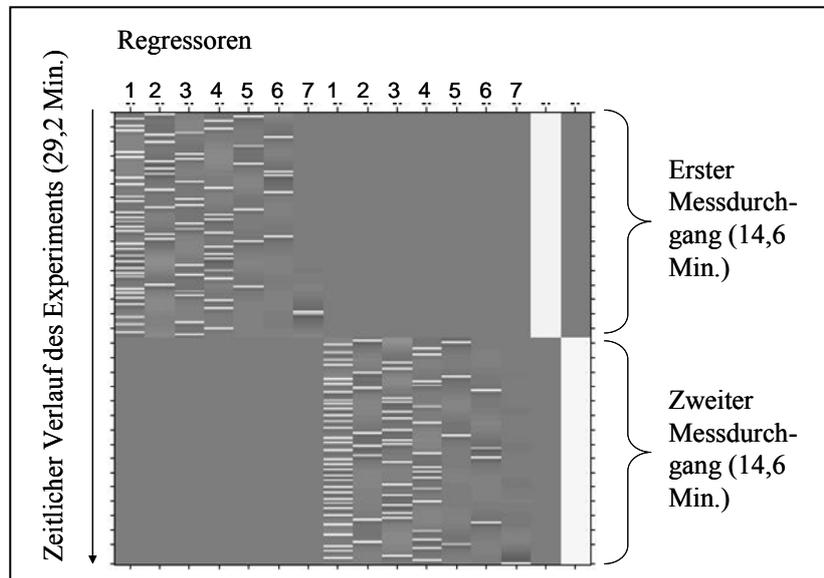


Abb. 7: Abbildung der Designmatrix. Regressoren sind: 1 = positives Feedback, 2 = negatives Feedback, 3 = positives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit, 4 = positives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit, 5 = negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit, 6 = negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit, 7 = Fehler (Auslasser).

Anschließend wurde das Modell und damit die β -Gewichte für jedes Voxel geschätzt. Es kann abgeschätzt werden, wie gut das Modell den wirklichen BOLD-Verlauf vorhersagt.

Im letzten Teilschritt wurden die Kontraste berechnet, mit denen die Hypothesen geprüft werden sollen. Bei der Kontrastierung wurden die Aktivierungen der einen Bedingung von den Aktivierungen der anderen Bedingung abgezogen. Thema dieser Arbeit sollen die folgenden Feedback-Kontraste sein:

- negatives Feedback (hohe + niedrig affektive Bedingung gepoolt) > positives Feedback (hohe + niedrig affektive Bedingung gepoolt)
- negatives niedrig affektives > negatives hoch affektives Feedback
- negatives hoch affektives > negatives niedrig affektives Feedback

Im Gegensatz zur First Level Analyse findet die Second Level Analyse auf Gruppenebene statt. Mit Hilfe der Random-Effekts-Analyse kann angenommen werden, dass die Daten der erhobenen Stichprobe auch die Grundgesamtheit repräsentieren. Dies

ermöglicht erst die Generalisierung der gefundenen Ergebnisse über die erhobene Stichprobe hinaus. Bei der Random-Effects-Analyse wird, im Gegensatz zur Fixed-Effect-Analyse, nicht nur die Variabilität innerhalb einer Versuchsperson, sondern auch die Variabilität zwischen den Versuchspersonen berücksichtigt.

Für die in der First Level Analyse berechneten Kontraste, wurden mit einem t-Test für eine Stichprobe, die gefundenen Aktivierung jeder Versuchsperson voxelweise getestet. So erhält man alle signifikant aktivierten Gehirnregionen für den jeweiligen Kontrast. Zusätzlich wurden die z-Werte der Koordinaten der Peak-Voxel angegeben. Peakvoxel sind die Voxel mit der höchsten Aktivierung des entsprechenden Clusters. In SPM werden die Koordinaten im MNI (Montreal Neurological Institute) Standardraum angegeben. Die Schwelle betrug $p < .001$ unkorrigiert und die Clustergröße 10 Voxel. Dies bedeutet, dass Aktivierungsmuster erst ab einer Größe von 10 Voxeln in der Analyse berücksichtigt wurden. Mit der SPM Anatomy Toolbox (Institut für Neurowissenschaften und Medizin, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich; Deutschland) wurden die cytoarchitektonischen Karten (Single-Subject-T1-Template) mit den funktionellen Daten überlagert. Die Anatomy Toolbox wurde nur für eine erste Orientierung genutzt, alle Aktivierungsorte wurden mit dem anatomischen Atlas von Duvernoy et al. (1999) bestimmt.

2.7.3 Auswertung des Fragebogens

Um die Ergebnisse des Fragebogen auszuwerten, wurden den einzelnen Antwortmöglichkeiten Zahlenwerte wie folgt zugeordnet: gar nicht = 1, wenig = 2, mittelmäßig = 3, ziemlich = 4 und sehr doll = 5. Obwohl es sich streng genommen um ordinalskalierte Daten handelt, wurden im Rahmen dieser Bachelorarbeit Mittelwerte und der Standardfehler des Mittelwerts berechnet und für die weitere Auswertung herangezogen. Um zu überprüfen ob sich die Bewertung der affektiven Bedingungen (hohe und niedrige affektive Wertigkeit) bei positivem beziehungsweise negativem Feedback unterscheiden, wurde ein nicht-parametrisches Verfahren angewendet. Es wurde ein Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben (zweiseitig, Signifikanzniveau $p < .005$, unkorrigiert) durchgeführt. Folgende Stichproben wurden gegeneinander getestet (Feedback der Kinder/Feedback der Peergroup):

- Positiv/Positiv vs. Positiv/Negativ
- Negativ/Negativ vs. Negativ/Positiv

Wie zuvor beschrieben, sollten die Bedingungen, in denen sich die Leistung der Kinder von der, der Peergroup unterscheidet (Positiv/Negativ und Negativ/Positiv), als hoch affektiv empfunden werden.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden zuerst die Ergebnisse der Auswertung der gemittelten Reaktionszeit und der Antwortgenauigkeit (Anteil falscher Antworten) dargestellt. Anschließend wird auf die MRT-Daten eingegangen, die im Zusammenhang mit der Verarbeitung von negativem Feedback stehen. Hierbei werden die signifikanten Aktivierungen gezeigt, die bei negativer im Vergleich zu positiver Rückmeldung gefunden wurden. Zusätzlich wurden die neuronalen Korrelate bei hoher bzw. niedriger affektiver Wertigkeit des negativen Feedbacks untersucht. Im letzten Abschnitt werden die Ergebnisse des Fragebogens bezüglich der Einschätzung der Wirkung des Feedbacks vorgestellt.

3.1 Verhaltensdaten

Im Zuge der Auswertung der Verhaltensdaten, wird zuerst auf den Anteil falscher Antworten und anschließend auf die mittleren Reaktionszeiten eingegangen. Es wurde geprüft ob es Unterschiede in den Verhaltensdaten bei negativem vs. positivem Feedback und bei hoher vs. niedriger affektiver Wertigkeit der negativen Rückmeldung gibt.

Der über alle Probanden gemittelte Anteil falscher Antworten betrug $30,9\% \pm 1,8$ (Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwerts). Von den insgesamt 80 Trials (40 in jeder Session) wurden im Durchschnitt die Aufgaben in 25 Trials nicht richtig gelöst. Den geringsten Anteil falscher Antworten erzielte ein Teilnehmer mit nur 14% (ca. 11 falsche Trials), der höchste Anteil falscher Antworten wurde mit 56% (ca. 45 nicht richtig gelöste Aufgaben) erreicht. Bei der Untersuchung der Nachfolge-Effekte des Feedbacks auf die Antwortgenauigkeit, wurde der Anteil falscher Antworten nachdem die Probanden im vorherigen Trial positives Feedback erhalten haben mit Trials in denen zuvor negatives Feedback dargeboten wurde, verglichen. So beträgt der prozentuale Anteil falscher Antworten nach negativen Feedback ca. $31,5\% \pm 2,1$ und nach positiven Feedback $30\% \pm 2,2$. Es konnte kein signifikanter Unterschied der

Antwortgenauigkeit nach positiven bzw. negativen Feedback festgestellt werden ($p = 0,489$). Auch der Vergleich der hohen und niedrigen affektiven Wertigkeit bei positiven und negativen Feedback ergab keine signifikanten Unterschiede (positiv: $p = 0,795$; negativ: $p = 0,995$). Damit konnte kein Effekt der Affektivität oder der Art des Feedbacks auf die Antwortgenauigkeit gezeigt werden. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte und der Standardfehler des Mittelwerts für die überprüften Bedingungen aufgelistet.

Tab. 1: Auflistung der Mittelwerte der prozentualen Anteile falscher Antworten der verschiedenen Feedback- und affektiven Bedingungen. Mittelwerte sind mit Standardfehler des Mittelwerts (SFM) angegeben. Es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden: negatives (neg.) Feedback (F) vs. positives (pos.) F. $p = 0,489$, neg. hoch affektiv (aff.) vs. neg. niedrig aff. $p = 0,995$ und pos. hoch aff. vs. pos. niedrig aff. $p = 0,795$.

Anteil falscher Antworten	Mittelwert [%] \pm SFM
nach negativen Feedback	31,5 \pm 2,1
nach positiven Feedback	30,0 \pm 2,2
nach negative hoch affektiven Feedback	29,9 \pm 2,2
nach negativ niedrig affektiven Feedback	30,3 \pm 2,5
nach positiv hoch affektiven Feedback	31,6 \pm 2,8
nach positiv niedrig affektiven Feedback	31,5 \pm 3,0

Die Auswertungen der Reaktionszeiten ergab einen Mittelwert bei Trials in denen falschen geantwortet wurde von 3,899 Sekunden \pm 0,094. Bei Trials mit richtigen Antworten betrug die Reaktionszeit durchschnittlich 3,722 Sekunden \pm 0,085. Der t-Test zum Vergleich der beiden Gruppen ergab einen signifikanten Unterschied ($p < .001$). Die Probanden brauchten damit bei Trials in denen sie falsch antworteten, signifikant länger als in Trials mit richtiger Antwort (siehe Abb. 8).

Des Weiteren konnte ein signifikanter Nachfolge-Effekt ($p < .001$) des zuvor erhaltenen Feedbacks auf die mittlere Reaktionszeit gezeigt werden. Die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit nach negativem Feedback betrug 3,854 Sekunden \pm 0,095. Nach positivem Feedback konnte eine gemittelte Reaktionszeit von nur 3,722 Sekunden \pm 0,084 festgestellt werden. Probanden haben folglich nach der Präsentation von negativem Feedback signifikant langsamer geantwortet als nach positiven Feedback (siehe Abb.8).

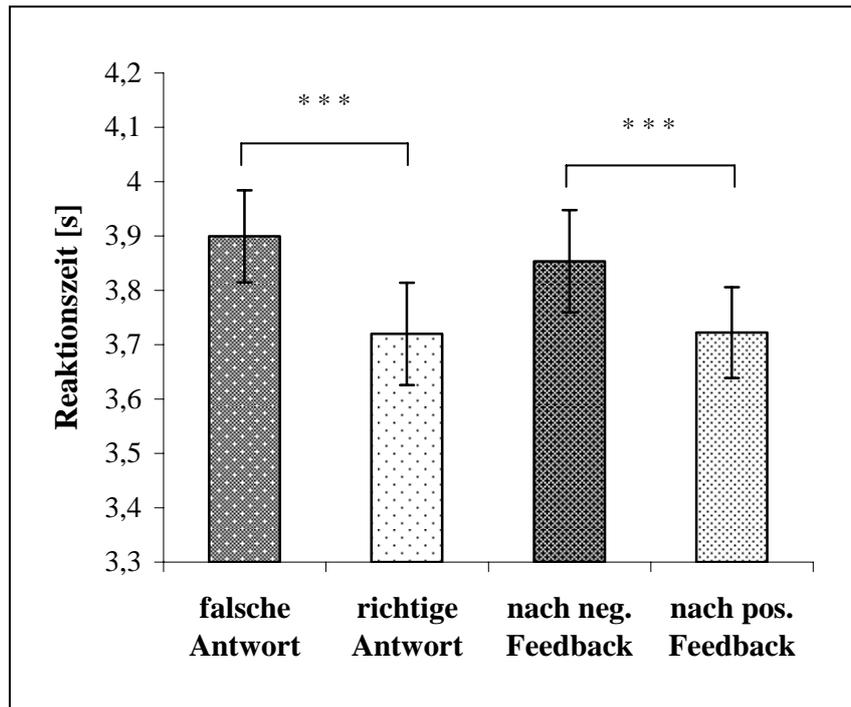


Abb. 8: Grafische Darstellung der mittleren Reaktionszeiten bei Trials in denen richtig/falsch geantwortet wurde und nach negativen (neg.) /positiven (pos.) Feedback. Die Mittelwerte der Reaktionszeiten sind in Sekunden angegeben. Reaktionszeiten mit Standardfehler des Mittelwerts. Signifikanter Unterschied bei einer Signifikanzschwelle von $p < .05$ ($p < .001$) für falsche vs. richtige Antwort und nach neg. vs. pos. Feedback ($p < .001$).

Beim Vergleich des Effekts der affektiven Wertigkeit bei negativem und positivem Feedback, konnten keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der Reaktionszeiten festgestellt werden. Alle Werte sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2: Tabellarischer Überblick über die Nachfolge-Effekte der Affektivität des Feedbacks auf die Reaktionszeit. Es sind die Mittelwerte der Reaktionszeiten in Sekunden mit dem Standardfehler des Mittelwerts (SFM) angegeben.

Reaktionszeit	Mittelwerte [s] \pm SFM
nach negativ hoch affektiven Feedback	3,881 \pm 0,100
nach negativ niedrig affektiven Feedback	3,829 \pm 0,101
nach positiv hoch affektiven Feedback	3,718 \pm 0,089
nach positiv niedrig affektiven Feedback	3,725 \pm 0,081

Es konnten lediglich signifikante Effekte der Feedbackart auf die mittlere Reaktionszeit, nicht aber auf die Antwortgenauigkeit, festgestellt werden. Die Auswertung der gemittelten Reaktionszeiten ergab, dass die Kinder signifikant langsamer antworteten,

wenn sie zuvor negatives Feedback erhalten haben oder ihre Antwort falsch war. Ein Effekt der affektiven Wertigkeit des positiven und negativen Feedbacks konnte weder für die mittleren Reaktionszeiten, noch für den Anteil falscher Antworten gezeigt werden.

3.2 MR- Daten

Es wird zuerst auf den Kontrast negatives Feedback > positives Feedback eingegangen, anschließend werden die Ergebnisse der beiden affektiven Kontraste (negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit niedriger affektiven Wertigkeit und negatives Feedback mit niedriger affektiven Wertigkeit > negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit) beschrieben.

3.2.1 Neurale Korrelate bei negativem Feedback

Gehirnregionen die bei der Verarbeitung von negativem Feedback signifikant stärker aktiviert wurden als bei positiver Rückmeldung, sind in Tabelle 3 mit MNI-Koordinaten der Peakvoxel, z-Werten und der Clustergröße detailliert aufgelistet.

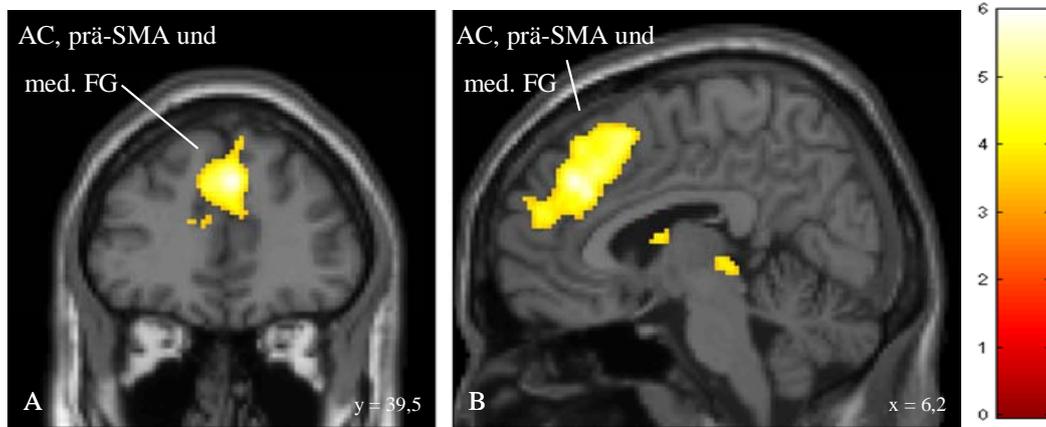
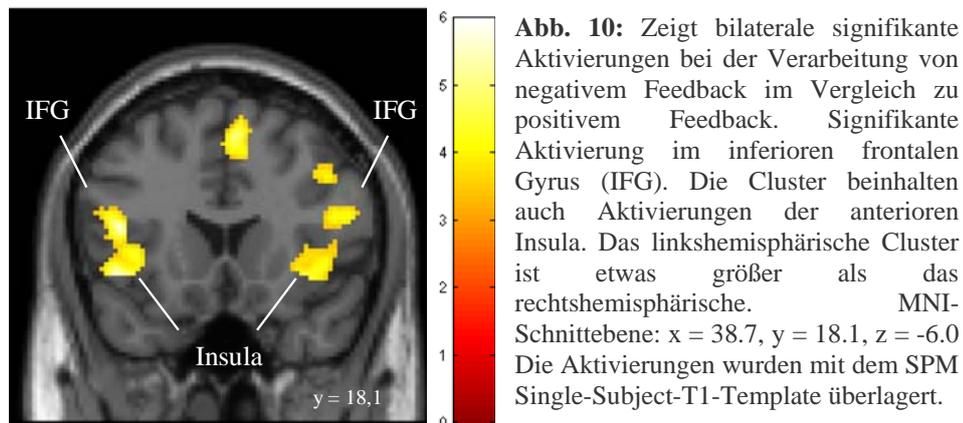


Abb. 9: Abbildungen zeigen das größte Cluster (1757 Voxel) signifikanter Aktivierung bei negativem Feedback im Vergleich zu positiven Feedback, mit dem Peakvoxel im mittleren Cingulum. **A** zeigt, dass die Aktivierung sich über beide Hemisphären erstreckt. Die Aktivierung in der rechten Hemisphäre ist stärker in ihrer Ausdehnung. **B** Das Cluster umfasst Aktivierungen im anterioren Cingulum (AC), im der prä-supplementärmotorisches Areal (prä-SMA), und im medialen frontalen Gyrus (med. FG). Schnittebenen im MNI-Standardraum sind: $x = 6,2$ $y = 39,5$ $z = 36,0$. Die Aktivierungen wurden mit dem SPM Single-Subject-T1-Template überlagert.

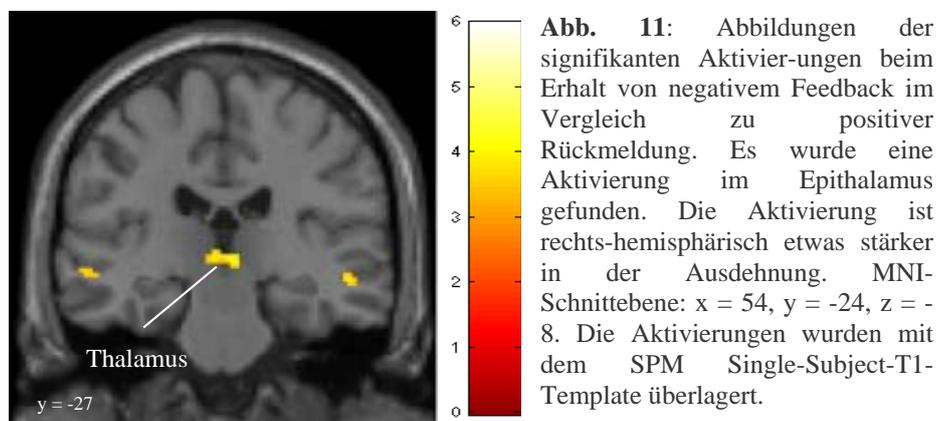
Das größte Cluster (1757 Voxel, $x = 4$, $y = 40$, $z = 36$) umfasst bilateral aktivierte frontale Regionen wie das mittlere und anteriore Cingulum (AC) incl. dorsalen anteriore Cingulum. Das Cluster dehnt sich bis in das rostrale AC, die prä-

supplementärmotorisches Areal (prä-SMA) und den medialen frontalen Gyrus (med. FG) aus. Abbildung 9 B zeigt die zuvor beschriebenen Aktivierungen. Der größte Teil der Aktivierungen liegt rechtshemisphärisch (siehe Abb.9 A).

Des Weiteren konnten bilaterale frontale Aktivierungen im inferioren frontalen Gyrus (IFG) und dem dorsolateralen Präfrontalkortex (PFK), einschließlich signifikanter Aktivierungen in der anterioren Insular gezeigt werden (siehe Abb. 10). Die Aktivierung in der linken Hemisphäre ist etwas stärker ausgeprägt als in der rechten Hemisphäre.



Subkortikal wurde bilateral der Epithalamus aktiviert. Ullsperger und von Cramon et al. (2003) zeigten Aktivierungen der Habenula mit den Koordinaten der Peakvoxel bei: $x = 3/-5$, $y = -26$ und $z = 7$ (Tallarach-Koordinaten in MNI-Koordinaten mit Hilfe der SPM-Toolbox, dem WFU-Pickatlas (Functional MRI Laboratory at the Wake Forest University School of Medicine, Winston-Salem, USA 2007) umgerechnet). In unserer Studie wurden Peakvoxel des Epithalamus mit den Koordinaten $x = 4/-10$, $y = -24/-12$,



$z = 2$ gefunden. Die Aktivierungsorte der Habenula bei Ullsperger und von Cramon et al. (2003) und die von uns gefundenen ähneln sich sehr. Dies lässt vermuten, dass sich unser Aktivierungscluster im Epithalamus sich auch bis in die Habenula erstreckt.

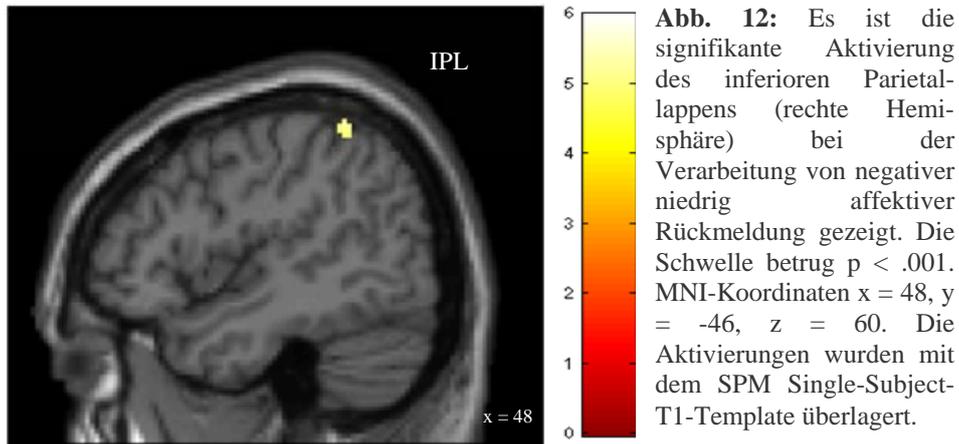
Tab. 3: Die Tabelle zeigt alle signifikanten Aktivierungen bei negativen Feedback (Schwelle: $p < .001$ unkorrigiert, Clustergröße 10) im Vergleich zu positivem Feedback. Es ist die Hirnregion angegeben in der der Peakvoxel liegt, die Hemisphäre, die Koordinaten der Peakvoxel im MNI-Standardraum, die z-Werte und die Voxelanzahl der gefundenen Cluster. Die unterstrichenen Regionen werden Gegenstand der Diskussion sein.

Region	Hemisphäre	x	y	z	z-Wert	Voxel
<i>Frontal</i>						
<u>MC</u>	R	4	40	36	4,88	1757
<u>SMFG</u>	L	-8	26	60	3,81	38
ZS	R	46	0	28	4,18	445
IPS p.t-	L	-42	8	34	3,44	27
<u>MFG</u>	R	26	54	16	4,47	208
IFG	R	56	26	26	3,54	26
<u>IFG, p. o. und Insula</u>	R	36	20	-6	4,26	462
<u>IFG, p. t. und Insula</u>	L	-44	20	14	4,94	486
SFS	L	-18	46	22	3,49	37
<u>AC</u>	L	-4	30	18	3,27	11
<i>Parietal</i>						
IPL	R	42	-42	54	4,30	112
<i>Temporal</i>						
STS	R	54	-24	-8	3,48	36
STS	L	-58	-24	-4	3,26	10
MTG	R	56	-34	-2	3,60	46
FG	R	40	-54	-12	3,63	34
<i>Subkortikal</i>						
<u>Thalamus, m. d. K.</u>	R	4	-24	2	3,68	57
Kopf Caudatum	R	16	0	18	3,89	86
Kopf Caudatum	L	-8	0	14	3,48	14
<u>Thalamus, m. d. K.</u>	L	-10	-12	2	3,71	26

MC = mittlerer Cingulum, SMFG = superiorer medial frontaler Gyrus, ZS = zentraler Sulcus, IPS = inferiorer präzentraler Sulcus, MFG = mittlerer frontaler Gyrus, IFG = inferiorer frontaler Gyrus, p.t. = pars triangularis, SFS = superiorer frontaler Sulcus, AC = anteriores Cingulum, IPL = inferiorer Parietallappen, STS = superiorer temporaler Sulcus, MTG = mittlerer temporaler Gyrus, FG = fusiformer Gyrus, m. d. K. = medio dorsaler Kern, p. o. = pars orbitalis

3.2.2 Neurale Korrelate bei niedriger affektiver Wertigkeit

Bei negativen niedrig affektiven Feedback (negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit) konnte bei einer Schwelle von $p < .001$ nur eine signifikante Aktivierung in der rechten Gehirnhälfte im inferioren Parietallappen gefunden werden (siehe Abb. 12).



Bei einer Senkung des Signifikanzniveaus auf $p < .005$ konnte eine weitere Aktivierung im rechten mittleren frontalen Gyrus gezeigt werden. Die Aktivierungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Auflistung der signifikanten Aktivierung bei negativem Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit im Vergleich zu negativem Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit. Es ist die Hirnregion, die Hemisphäre, die MNI-Koordinaten des Peakvoxels, der z-Wert und die Clustergröße angegeben. Schwelle $p < .001$ unkorrigiert, Clustergröße 10 Voxel.

Region	Hemisphäre	x	y	z	z-Wert	Voxel
<i>Parietal</i>						
IPL	R	48	-46	60	3,36	23
MFG*	R	44	24	48	3,47	63

IPL = inferiorer Parietallappen, MFG = mittlere frontaler Gyrus. * Aktivierung bei einem gesenkten Signifikanzniveau von $p < .005$.

3.2.3 Neurale Korrelate bei hoher affektiver Wertigkeit

Bei der Verarbeitung von negativem hoch affektivem Feedback (negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit) konnten keine signifikanten Aktivierungen gefunden werden. Erst nach einem Senken der Schwelle auf $p < .005$ konnten signifikante Aktivierung gezeigt

werden. Ein Cluster (16 Voxel) liegt im inferioren frontalen Gyrus der rechten Hemisphäre. Auch in rechten superioren temporalen Gyrus konnte ein signifikant aktiviertes Cluster (12 Voxel) gefunden werden (siehe Tabelle 5).

Tab. 5: Signifikante Aktivierungen bei der Verarbeitung von negativem hoch affektivem Feedback im Vergleich zu negativem Feedback mit geringer affektiver Wertigkeit. Das Signifikanzniveau betrug $p < .005$ unkorrigiert, Clustergröße 10 Voxel. Es sind die aktivierten Regionen, die Hemisphären, die MNI-Koordinaten, die z-Werte und die Clustergröße aufgeführt. Die unterstrichenen Regionen werden in der Diskussion näher behandelt.

Region	Hemisphäre	x	y	z	z-Wert	Voxel
<i>Frontal</i>						
SPS*	L	-30	-6	50	3,70	29
<i>Occipital</i>						
IOC*	R	40	-80	-2	3,07	18
<i>Temporal</i>						
MTG*	L	-62	-58	10	3,07	95
<u>IFG, p.t.*</u>	R	48	26	12	3,02	16
<u>.STG*</u>	R	52	-36	2	3,00	12
ITG*	L	-42	-52	-12	2,98	26

SPS = superiorer präzentraler Sulcus, IOC = inferiorer occipitaler Sulcus, MTG = mittlerer temporaler Gyrus, IFG = inferiorer frontaler Gyrus, p.t. = pars triangularis, STG = superiorer temporaler Gyrus, ITG = inferiorer temporaler Gyrus. *signifikante Aktivierungen bei einem Signifikanzniveau von $p < .005$.

3.3 Fragebogen zur Wirkung des Feedbacks

Es werden nun kurz die Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens zur Wirkung des Feedbacks dargestellt (siehe Abbildung 13). Die Kinder sollten nach der Scannerprozedur mit Hilfe des Fragebogens einschätzen, in welchem Maß sie sich beim Erhalt von positiver Rückmeldung gefreut bzw. bei negativer geärgert haben. Es wurden alle vier Feedbackarten abgefragt.

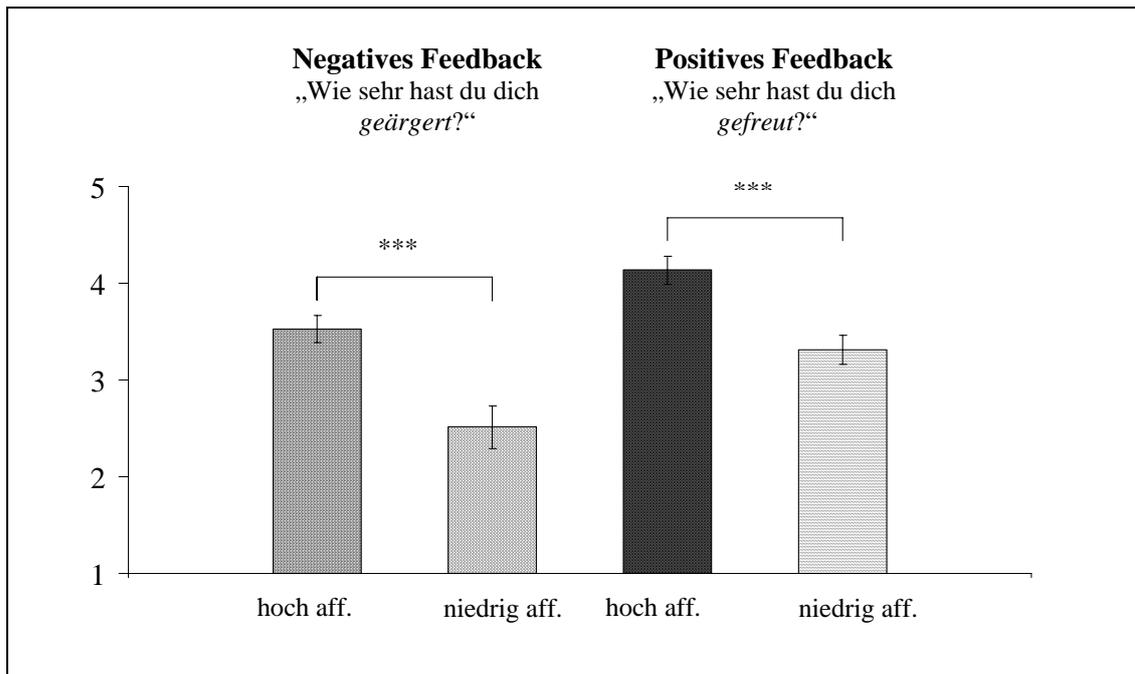


Abb. 13: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Auswertung des Fragebogens zur Ermittlung der Wirkung des Feedbacks. Es sind die Ergebnisse für negatives und positives Feedback dargestellt, die hoch und niedrig affektiven (aff.) Bedingungen sind gegenübergestellt. Der Wilcoxon-Test ergab signifikante Unterschiede ($p < .001$) zwischen hoch und niedrig affektiven bei positiven und negativen Feedback. 1 = gar nicht, 2 = ein wenig, 3 = mittelmäßig, 4 = ziemlich und 5 = sehr doll.

Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests zeigen, dass sich die Kinder über positives Feedback, bei dem sie besser abschnitten als die Peergroup ($4,14 \pm 0,15$), signifikant mehr freuten ($p < .001$), als über positives Feedback bei dem sie genauso gut wie die Peergroup abschnitten ($3,31 \pm 0,15$). Bei negativer Rückmeldung zeigten sich ähnliche Ergebnisse, bei der hoch affektiven Bedingung (ich habe es falsch, alle anderen haben es richtig) ärgerten sich die Kinder mehr ($3,53 \pm 0,22$) als beim Erhalt von negativem Feedback bei dem die Peergroup genauso schlecht abschnitt wie sie ($2,51 \pm 0,14$). Diese Bedingungen unterschieden sich ebenfalls signifikant voneinander ($p < .001$).

Es ist jedoch anzumerken, dass die verschiedenen affektiven Bedingungen von den Kindern zum Teil sehr unterschiedlich bewertet wurden. So gaben sechs Kinder (16,2%) an, sich bei beiden affektiven Bedingungen des positiven Feedbacks (hohe und niedrige affektive Wertigkeit) im gleichen Maße gefreut zu haben. Bei der negativen Rückmeldung gaben insgesamt neun Kinder (24,3%) an, sich gleich stark geärgert zu haben, wenn sie genauso oder schlechter im Vergleich zur Peergroup abschnitten. Vier Kinder (10,8%) gaben an, sich weniger geärgert zu haben, wenn die Peergroup besser abschnitt als sie. Diese Kinder gaben auf Nachfrage als Grund ihrer Bewertung an, dass

sie zwar traurig waren, dass sie die Aufgabe nicht lösen konnten, sich aber für die anderen Kinder (Peergroup) freuten, da wenigsten diese korrekt geantwortet hätten. Mit den Ergebnissen der Auswertung des Fragebogens konnte gezeigt werden, dass die meisten Kinder das Feedback entsprechend der affektiven Wertigkeit einschätzen. Die hoch affektive Bedingung wird bei positiven und negativen Feedback stärker emotional empfunden. Eine Einschränkung unter Berücksichtigung der Heterogenität der Bewertungen ist jedoch angebracht.

4 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie die neuronalen Korrelate bei der Verarbeitung von negativer Rückmeldung (negatives Feedback beider affektiver Wertigkeiten > positives Feedback beider affektiver Wertigkeiten) bei Kindern (10 bis 13 Jahre) zu untersuchen. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf den Effekt der affektiven Wertigkeit des Feedbacks gelegt. Des Weiteren sollten die Auswirkungen des Feedbacks und der affektiven Wertigkeit auf den Anteil falscher Antworten und die mittlere Reaktionszeit geprüft werden. Ein Fragebogen, der den Kindern die Möglichkeit gab, die verschiedenen Feedbackarten im Bezug auf die affektive Wirkung zu bewerten, wurde ebenfalls eingesetzt. Nach einer kurzen Zusammenfassung der Ergebnisse wird auf die Verhaltensdaten, die MR-Daten und den Fragebogen zur Bewertung des Feedbacks eingegangen. Die Ergebnisse werden vor dem Hintergrund bereits vorliegender Literatur diskutiert. Es gibt eine Reihe von fMRT-Studien die sich mit der Verarbeitung von Feedback bei Erwachsenen beschäftigen, aber nur wenige, die sich mit dieser Thematik bei Kindern auseinandersetzen. Aus diesem Grund werde ich mich in der Diskussion hauptsächlich auf wissenschaftliche Arbeiten beziehen, die an Erwachsenen durchgeführt wurden.

4.1 Verhaltensdaten

Es wird zuerst auf den Anteil falscher Antworten und anschließend auf die mittlere Reaktionszeit eingegangen. Mit einem Anteil falscher Antworten von $30,9 \% \pm 1,8$ (Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwerts) konnte der angestrebte Anteil falscher Antworten von ca. 30% erreicht werden. Der Schwierigkeitsgrad des Paradigmas war demnach gut gewählt, um die gewünschte Fehlerrate zu erzielen. Es ist jedoch

anzumerken, dass mit einem Anteil von 11 bis 45 Trials mit falscher Antwort, die Spannweite der Werte sehr groß ist. Eine geringe Spannweite der Antwortgenauigkeit ist jedoch wünschenswert, in der aktuellen Studie erhielten lediglich 54% der Probanden in mehr als 25 Trials negatives Feedback. Nach Huettel et al. (2001) sollte über 25 oder mehr Ereignisse (Erhalt negatives Feedback) gemittelt werden, um neurale Aktivierungsorte räumlich verlässlich bestimmen zu können. Dies wird mit der Variabilität der gemessenen hämodynamischen Antwort begründet. Entgegen der Erwartungen hatte die Feedback – bzw. affektive Bedingung keinen signifikanten Einfluss auf die Antwortgenauigkeit. Die vermutete Zunahme des Anteils falscher Antworten nach dem Erhalt von negativem Feedback und eine Verstärkung dieses Effekts in der hoch affektiven Bedingung, konnten nicht nachgewiesen werden. In einer Studie über Feedback-basiertes Lernen bei Kindern und Erwachsenen konnte gezeigt werden, dass die Antwortgenauigkeit nach dem Erhalt von negativer Rückmeldung im Vergleich zur vorherigen Präsentation von positivem Feedback, signifikant abnimmt. Der Unterschied war bei Kindern im Alter von 11 bis 13 Jahren größer als bei Erwachsenen (van Duijvenvoorde et al., 2008). Die Autoren interpretieren die Abnahme der Antwortgenauigkeit in der Form, dass negatives Feedback auf eine notwendige Verhaltensanpassung hinweist und diese bei Kindern mehr Anstrengung fordert, als bei Erwachsenen. Es falle Kindern schwerer von negativem Feedback zu lernen (van Duijvenvoorde et al., 2008). Zusätzlich ist es möglich, dass manche Kinder durch negatives Feedback verunsichert werden und infolgedessen leichter Fehler machen. Ein Grund dafür, dass in der vorliegenden Studie keine Unterschiede im Bezug auf die Antwortgenauigkeit gefunden wurden, könnte sein, dass zwischen dem Lösen der Aufgabe und den Erhalt des Feedbacks zum Teil lange Intervalle von bis zu 18 Sekunden lagen. Mit der Länge des Zeitraums zwischen Abschluss der Aufgabenbearbeitung und dem Erhalt des Feedbacks kann die affektive Bedeutung des Feedbacks für den Probanden stark abnehmen. Mit der geringeren Bedeutung des Feedbacks wurden vielleicht auch die möglichen Nachfolgeeffekte auf die Antwortgenauigkeit abgeschwächt und statistisch nicht mehr signifikant.

Die Auswertung der Mittelwerte der Reaktionszeiten ergab, entsprechend der Erwartungen, dass in Trials in denen die Kinder eine falsche Antwort gegeben haben, ein im Mittel signifikanter Anstieg der Reaktionszeit beobachtet werden konnte. Diese Beobachtung resultiert wahrscheinlich daraus, dass sich in diesen Trials die Kinder

nicht sicher über die richtige Antwort waren und daher länger für eine Antwort brauchten. Bei einer Studie an Erwachsenen von Ullsperger und Cramon et al. (2003) mussten die Probanden schätzen welcher von zwei Bällen zuerst eine Ziellinie überquert, nachdem sie eine Sequenz der sich bewegenden Bälle für 1,43 Sekunden betrachtet hatten. Ullsperger und von Cramon et al. (2003) konnten zeigen, dass die mittlere Reaktionszeit signifikant länger war in Trials, in denen die Teilnehmer falsch geschätzt hatten. Die Autoren erklären die längere Reaktionszeit damit, dass in diesen Trials ein höheres Maß an Unsicherheit und Antwortkonflikt herrscht. Marco-Pallares et al. (2007) konnten die zuvor beschriebenen Ergebnisse in ihrer Studie nicht bestätigen. Sie konnten keinen signifikanten Unterschied der gemittelten Reaktionszeiten bei falschen und richtigen Antworten finden. Dies könnte an der kleinen Stichprobe von nur 12 Probanden liegen. Alle Stichproben mit $n \leq 30$ werden nach Günter Clauß und Heinz Ebner (1979) als „klein“ bezeichnet. Bei relativ kleinen Kennwertunterschieden (wie es bei Mittelwerten von Reaktionszeiten der Fall sein kann) sind „große“ Stichproben von $n > 30$ nötig um die Signifikanz des Unterschieds nachweisen zu können (Clauß G., 1979). Damit ist es möglich, dass eventuell vorhandene Unterschiede der mittleren Reaktionszeit bei der Studie von (Marco-Pallares et al., 2007) aufgrund der relativ kleinen Stichprobe nicht das Signifikanzniveau erreichten.

Der Nachfolge-Effekt von negativem Feedback auf die Reaktionszeit führte, wie erwartet, im darauf folgenden Trial zu einem signifikanten Anstieg der gemittelten Reaktionszeit. Dieses als „post-error slowing“ bezeichnete Phänomen, beschreibt die Tendenz, dass nachdem ein Fehler gemacht wurde, die nächste Aufgabe langsamer und sorgfältiger bearbeitet wird. Es findet eine Änderung des Verhältnisses von Antwortgeschwindigkeit zugunsten der Genauigkeit statt (Ridderinkhof et al., 2004). Der Versuch wird unternommen, den Fehler zu kompensieren und das Verhalten dahingehend anzupassen, das die Gefahr von zukünftigen Fehlern minimiert wird (van Veen and Carter, 2006). Dies könnte besonders auf Kindern bei denen der Erwerb von Wissen im Vordergrund steht, zutreffen. Eine negative Rückmeldung könnte als Hilfsmittel zur Verbesserung der Leistung angesehen werden, woraus eine größere Anstrengung und damit zeitlicher Aufwand im nächsten Trial resultieren könnte. Des Weiteren ist es denkbar, dass bei Kindern bei denen dagegen die Leistung im Vordergrund steht, negatives Feedback eher als eine Bedrohung angesehen wird und sie ihre Fehler auf mangelnde persönliche Fähigkeiten zurückführen. Dadurch könnte die

negative Rückmeldung demotivierend wirken und so zu größerer Unsicherheit und längerer Reaktionszeit (Mittelwerte) im nächsten Trial führen. Vergleichbare Ergebnisse erzielten auch van Duijvenvoorde et al. (2003) und Jimura et al. (2004) in ihren Studien, die Teilnehmer antworteten nach dem Erhalt von negativem Feedback im Mittel signifikant langsamer. Nach Hester et al. (2004) kann die Reaktionszeit als Maß für die Konfliktverarbeitung und -überwachung herangezogen werden. Demnach ist eine längere gemittelte Reaktionszeit ein Hinweis auf verstärkte Konfliktverarbeitungs- und Überwachungsprozesse. Diese Vermutung könnte auch auf die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse anwendbar sein, da die Verarbeitung von negativem Feedback oft mit einem erhöhten Maß an Konflikt (Antwortkonflikt) in Verbindung gebracht wird (Carter et al., 1998; Taylor et al., 2007). Auch eine Verringerung der Antwortgeschwindigkeit aufgrund einer Erhöhung der Genauigkeit ist eine mögliche Erklärung für die gefundenen Ergebnisse (Ridderinkhof et al., 2004). Die meisten Kinder nahmen sich nach einem falschen Trial im darauf folgenden vielleicht etwas mehr Zeit um sicher zu gehen, dass sie die Aufgabe dieses Mal richtig lösten. Eine andere Theorie besagt, dass eine längere mittlere Reaktionszeit nach Fehlern, Zeichen für eine Änderung der kognitiven Kontrolle ist. Dies lässt sich durch verbesserte Leistungen nach Fehlern zeigen (Ridderinkhof et al., 2004). Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Effekte des Feedbacks auf das Lernen nicht untersucht, eine Erhöhung der kognitiven Kontrolle nach negativem Feedback wird aber von verschiedenen Autoren postuliert (Carter et al., 1998; Bush et al., 2000; Holroyd et al., 2004). Die Erhöhung der kognitiven Kontrolle dient der Verstärkung und Unterstützung adaptiver Verhaltensprozesse (Holroyd et al., 2004).

Da dies zum jetzigen Zeitpunkt die erste fMRT-Studie zur Untersuchung der affektiven Komponente von Feedback bei Kindern ist, gibt es noch keine wissenschaftliche Literatur zu diesem Thema. In der vorliegenden Studie konnte, anders als erwartet, kein signifikanter Effekt der affektiven Wertigkeit des negativen Feedbacks auf die Mittelwerte der Reaktionszeit gezeigt werden. Dies lässt sich, wie bei der Antwortgenauigkeit, vermutlich auf die zum Teil langen Zeiträume zwischen Aufgabenlösung und Präsentation der Rückmeldung zurückführen. Auch die Heterogenität der Wirkung der emotionalen Bedeutung des Feedbacks auf die Kinder, könnte ein möglicher Grund sein (siehe 3.3).

4.2 MR-Daten

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit beschränke ich mich, wie im Ergebnisteil vermerkt, auf die wichtigsten Aktivierungsorte der drei Kontraste. Die Auswertung der funktionellen Daten ergab, dass bei negativem Feedback im Vergleich zu positivem Feedback (ohne Berücksichtigung der affektiven Wertigkeit), das anteriore Cingulum (AC) und angrenzende Regionen, der bilaterale inferiore frontale Gyrus, die bilaterale anteriore Insula und die Habenula (bilateral) signifikant aktiviert wurden. Negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit (negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit) rief eine signifikante Aktivierung im rechten inferioren Parietallappen hervor. Bei negativem Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit (negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit) konnten bei einem Signifikanzniveau $p < .001$ keine Aktivierungen gefunden werden. Erst bei einem Signifikanzniveau von $p < .005$ konnte unter anderem eine signifikante Aktivierung im bilateralen inferioren frontalen Gyrus und im rechten superioren temporalen Gyrus gezeigt werden.

4.2.1 Negatives Feedback

Hypothesenkonform konnten bei negativem im Vergleich zu positivem Feedback signifikante Aktivierungen in Gehirnregionen gefunden werden, die an der Feedback- und Fehlerverarbeitung beteiligt sind. Dazu gehört unter anderem das Cingulum, es wurde ein rechtshemisphärisch stärker ausgeprägtes Aktivierungsmuster im mittleren und AC und im medial frontalen Gyrus (medialer Frontalkortex) gefunden. Auch im angrenzenden rechten prä- supplementärmotorisches Areal (prä-SMA) und im rechten mittleren frontalen Gyrus (dorsolateraler Präfrontalkortex, PFK) konnten signifikante Aktivierungen gezeigt werden. Elektrophysiologische Studien geben Hinweis auf die Beteiligung des AC an der Fehlerverarbeitung und – überwachung (Bush et al., 2000; Taylor et al., 2007). So wird vermutet, dass das dorsale AC die Quelle der Error related Negativity (ERN) ist, ein negatives Ereignisbezogenes Potenzial (event related potential; ERP) welches 50 bis 100 Millisekunden nach dem Begehen eines Fehlers messbar ist (Taylor et al., 2007). Es wird vermutet, dass das AC Quelle eines weiteren ERPs, der Feedback related Negativity (FRN) ist. Die FRN tritt nach dem Erhalt von Feedback auf und erreicht nach ca. 250 bis 300 Millisekunden ihre maximale Amplitude

(Nieuwenhuis et al., 2005). Bei negativem Feedback ist die Amplitude im Vergleich zu positiven Feedback höher (Nieuwenhuis et al., 2005). Metaanalysen zeigen, dass bei Studien die sich mit den neuralen Korrelaten der Verarbeitung von Fehlern und negativer Rückmeldung beschäftigen, der posteriore mediale Frontalkortex (zu dem auch das dorsale AC gehört) am häufigsten gefunden wird (Carter et al., 1998; Bush et al., 2000; Taylor et al., 2007). Auch eine Reihe von fMRT-Studien zeigen signifikante Aktivierungen im AC nach Fehlern und negativem Feedback bei Erwachsenen (Hester et al., 2004; Holroyd et al., 2004). Van Duijvenvoorde et al. (2008) konnte signifikante Aktivierungen in Bereichen des AC und des prä-SMA bei Kindern im Alter von 11 bis 13 Jahren zeigen. Der dorsolaterale PFK zeigte jedoch keine Sensitivität gegenüber positivem oder negativem Feedback. Bei Erwachsenen war dagegen eine erhöhte Aktivität in dieser Region nach negativem Feedback festzustellen (van Duijvenvoorde et al., 2008). Die Autoren vermuten, dass sich die Bereiche des prä-SMA und AC früher entwickeln als der dorsolaterale PFK. Das in der vorliegenden Studie bei der gleichen Altersklasse dennoch eine signifikante Aktivierung im dorsolateralen PFK gefunden wurde, könnte an der größeren Stichprobe von 36 Kindern im Vergleich zu 19 Kindern in der Studie von van Duijvenvoorde et al. (2008) liegen.

Im Bezug auf die verschiedenen Theorien über die Funktionen des AC wurde bereits in der Einleitung berichtet. Bei der Konflikttheorie nach Ridderinkhof et al. (2008), wird angenommen, dass der posteriore mediale Frontalkortex, Teil eines Netzwerkes ist und Überwachungsfunktionen bei der Detektion von Antwortkonflikt übernimmt. Der posteriore mediale Frontalkortex signalisiere dem lateralen PFK, wenn eine Erhöhung der kognitiven Kontrolle zur Verhaltensanpassung notwendig sei (bei Fehlern). Taylor et al. (2007) postuliert ebenfalls eine Konflikttheorie, benennt im posterioren medialen Frontalkortex jedoch das dorsale AC, für die Leistungsüberwachung. Der dorsolaterale Präfrontalkortex (PFK) übernimmt in dieser Theorie die Modulation der kognitiven Kontrolle. Die beiden von Taylor et al. (2007) und Ridderinkhof et al. (2008) postulierten Netzwerke werden aktiviert, wenn ein kognitiver Konflikt oder Antwortkonflikt auftritt. Zwar wurde das Paradigma nicht entwickelt um einen hohen Antwortkonflikt zu generieren, es ist aber bekannt, dass bei falschen im Vergleich zu richtigen Antworten ein erhöhtes Maß an Antwortkonflikt herrschen kann (Taylor et al., 2007). Auf falsche Antworten folgte in unserem Paradigma immer die Präsentation von negativem Feedback. Die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse des Nachfolge-Effekts

der negativen Rückmeldung auf die gemittelte Reaktionszeit weisen ebenfalls auf mehr Unsicherheit und Antwortkonflikt, nach dem Erhalt von negativem Feedback hin (Hester et al., 2004). Auch die signifikante Aktivierung (bei negativem im Vergleich zu positivem Feedback) des prä-SMA, die in unserer Studie gefunden wurde, spricht für einen höheren Grad an Konflikt, da manche Autoren eine Beteiligung des prä-SMA an Konfliktverarbeitung postulieren (Nieuwenhuis et al., 2005). Ridderinkhof et al. (2008) vermutet, dass das prä-SMA zwischen dem posterioren MFK und dem lateralen PFK vermittelt. Im Bezug auf die Verstärkungslernen-Theorie (Taylor et al., 2007) ist eine „schlechter als erwartet“ Reaktion der Kinder auf das negative Feedback nur begrenzt wahrscheinlich. Bei dem in unserer Studie verwendeten Paradigma war den Kindern bewusst, dass sie Fehler machen konnten, sie konnten also nicht für jedes Trial annehmen richtig geantwortet zu haben. Es ist trotzdem möglich, dass die Kinder Enttäuschung (negatives Feedback = „schlechter als erwartet“) empfunden haben, da eine Belohnung in Form von positivem Feedback nicht eingetreten ist. Für diese Theorie würde die in der vorliegenden Studie gefundene signifikante Aktivierung im dorsalen AC sprechen (Taylor et al., 2007). Letztendlich kann auf Grundlage der erhobenen Daten aber keine Unterscheidung zwischen den Theorien gemacht werden. Es bleibt weiterhin unklar, ob Fehler- und Konfliktverarbeitung in denselben neuronalen Netzwerken stattfindet (Taylor et al., 2007).

Bezüglich der funktionellen Unterteilung des AC in kognitive (dorsale AC) und emotionale (rostraler AC) Bereiche, konnte in unserer Studie eine stärkere Ausdehnung des Aktivierungscluster im dorsalen AC gezeigt werden. Dies weist auf eine stärkere Beteiligung von kognitiven Prozessen im Vergleich zu emotionalen Prozessen bei der Verarbeitung von negativem Feedback hin (Bush et al., 2000). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass bei dem verwendeten Kontrast (negatives Feedback hohe + niedrige affektive Wertigkeit > positives Feedback hohe + niedrige affektive Wertigkeit) nur die Hälfte des dargebotenen negativen Feedbacks eine hohe affektive Wertigkeit aufwies und damit der emotionale Teil des AC weniger stark aktiviert wurde.

Den Erwartungen entsprechend wurde auch eine signifikante Aktivierung in dem prä-SMA bei der Verarbeitung von negativem Feedback im Vergleich zu positivem Feedback gefunden. Mehrere Studien konnten neben anderen Gehirnarealen auch signifikante Aktivierungen in dem prä-SMA bei der Fehlerverarbeitung zeigen

(Ullsperger and von Cramon, 2003; Hester et al., 2004; Holroyd et al., 2004; van Duijvenvoorde et al., 2008).

Als einen funktionellen Aspekt des prä-SMA beschreiben Nachev et al. (2008) und Picard und Strick et al. (1996) eine Aktivierung bei Paradigmen mit hohem Antwortkonflikt. Das in unserer Studie verwendete Paradigma wurde nicht speziell entwickelt, um ein hohes Maß an Antwortkonflikt zu erzeugen, aber es ist dennoch möglich, dass ein Antwortkonflikt bei der Wahl der richtigen Formel entsteht. Diese Hypothese wird auch durch die gefundenen Verhaltensdaten unterstützt. Die Probanden antworteten im Mittel signifikant langsamer in Trials in denen sie die Aufgabe nicht korrekt lösen konnten. Die längere mittlere Reaktionszeit bei negativem Feedback ist ein Hinweis auf ein erhöhtes Maß an Konflikt und Unsicherheit (Ullsperger and von Cramon, 2003; Hester et al., 2004). Somit könnte die gefundene Aktivierung im prä-SMA durch die Verarbeitung der Aufgaben mit höherem Antwortkonflikt (bei falschen Antworten und damit bei negativem Feedback) begründet werden. Picard und Strick et al. (1996) erweitern die Thematik des Antwortkonflikts dahingehend, dass eine Aktivierung des prä-SMA auch bei der Inhibition und Unterdrückung einer zuvor beabsichtigten Antwort zu beobachten ist. Auch Nachev et al. (2008) berichtet von Tier- und Läsionsstudien am Menschen, die Hinweise auf eine Aktivierung des prä-SMA geben, die im Zusammenhang mit der Inhibition von zuvor geplanten Handlungen und der Änderung von Strategien stehen. Auch die Inhibition und Unterdrückung einer Antworttendenz kann bei dem in unserer Studie verwendeten Paradigma auftreten, da die Inhibition einer Antworttendenz nahe mit der Verarbeitung von Antwortkonflikt assoziiert ist. Nachev et al. (2008) postulieren sogar, dass die dem AC ebenfalls zugeschriebene Verarbeitung von Antwortkonflikt (wie zuvor beschrieben) nicht gerechtfertigt sei und diese Funktion eher dem prä-SMA zugeschrieben werden sollte.

Nach Van Duijvenvoorde et al. (2008) sind die Aktivierungsmuster in dem prä-SMA bei der Verarbeitung von negativer Rückmeldung bei 11 bis 13 jährigen und Erwachsenen vergleichbar. Bei der Studie von Jimura et al. (2004), konnte keine Aktivierung des prä-SMA im Zusammenhang mit der Verarbeitung von negativem Feedback bei Erwachsenen gezeigt werden. Es wurden jedoch Aktivierungen in einer Region 20 mm ventral und anterior von dem prä-SMA entfernt gefunden. Eine andere Studie mit Erwachsenen von Nieuwenhuis et al. (2005) zeigt ähnlich starke Aktivierungsmuster in dem prä-SMA bei der Verarbeitung von negativem und

positivem Feedback (Nieuwenhuis et al., 2005). Die Autoren geben an, dass die Aktivierung bereits vor Darbietung des Feedbacks einsetzte und demzufolge nicht auf Feedback bezogene Prozesse zurückzuführen ist. Übereinstimmend mit Studien von Holroyd et al. (2004), Ullsperger und von Cramon et al. (2003) und Ridderinkhof et al. (2004) schlagen die Autoren vor, dass die Aktivierung im prä-SMA im Zusammenhang mit Fehlerverarbeitung durch Prozesse eines inneren Antwortbewertungs-Systems und damit auf Unsicherheit und Antwortkonflikt zurückzuführen ist (Nieuwenhuis et al., 2005).

In dieser Studie wurden signifikante bilaterale Aktivierungen der anterioren Insula im Zusammenhang mit der Verarbeitung negativer Rückmeldung (im Vergleich zu positiver Rückmeldung) gefunden. Aktivierungen der Insula wurden in einer Vielzahl verschiedener Studien im Zusammenhang mit der Verarbeitung von negativ besetzten Emotionen, wie Schmerz und Ekel gefunden (Singer and Lamm, 2009). Andere Studien zeigten Aktivierungen bei der Erwartung und Erfahrung von negativen Ereignissen, wie finanziellem Verlust oder die Konfrontation mit aversiven Stimuli (Samanez-Larkin et al., 2008). Bei der Erwartung von Verlust und anderen negativen Ereignissen besteht ein erhöhtes Maß an Besorgtheit und Angst. Nach Samanez-Larkin et al. (2008) ist die Insula sensitiv gegenüber der Erwartung und dem Erleben von Verlust. In der vorliegenden Studie mussten die Probanden bei einer falschen Antwort zwar keinen finanziellen Verlust befürchten, aber ein nicht Erhalten einer Belohnung, in Form des Ausbleibens des positiven Feedbacks. Es ist denkbar, dass die gefundene Aktivierung der anterioren Insula auf die Erwartung und das Erleben von negativen Ereignissen (negatives Feedback und das Ausbleiben des positiven Feedbacks) zurückzuführen ist. Die Kinder haben im Vergleich zu positivem Feedback, bei Fehlern (negatives Feedback) ein höheres Maß an negativen Emotionen erlebt. Die Beteiligung von negativen Emotionen beim Erhalt von negativer Rückmeldung konnten die Ergebnisse des Fragebogens zur Wirkung des Feedbacks bestätigen. Die Kinder gaben an, sich mittelmäßig bis ziemlich über negatives Feedback geärgert zu haben.

Mehrere fMRT-Studien, die sich mit der Verarbeitung von Fehlern und negativem Feedback beschäftigen, konnten bilaterale Aktivierungen der anterioren Insula zeigen (Ullsperger and von Cramon, 2003; Hester et al., 2004). Ullsperger und Cramon et al. (2003) vermuten eine Bewertungsfunktion der Insula. Die Aktivierung der Insula spiegelt eine autonome Antwort auf die emotionale Belastung der negativen

Rückmeldung wider. Dies entspricht den zuvor beschriebenen Theorien über die Beteiligung der Insula an der Verarbeitung negativer Ereignisse. Eine weitere Studie, die für eine Beteiligung der anterioren Insula an der Verarbeitung von emotional besetzten Ereignissen steht, wurde 2009 von Mutschler et al. veröffentlicht. Bei einer Meta-Analyse konnten signifikante Co-Aktivierungen der ventralen anterioren Insula und der Amygdala gezeigt werden. Die Amygdala ist Teil des limbischen Systems und weist reziproke anatomische Verbindungen zur Insula auf (Mutschler et al., 2009). Die Autoren postulieren, dass die ventrale anteriore Insula eine Art „Schalterfunktion“ bei der Übermittlung von sensorischer Information in das limbische System übernimmt. Bei einem anderen Interpretationsansatz von Taylor et al. (2007) bildet die anteriore Insula zusammen mit Regionen des dorsalen AC und dem posterioren medialen Frontalkortex, die Hauptkomponenten eines neuronalen Netzwerkes. Dieses Netzwerk ist mit kognitiven Prozessen der Aufgabeninitiation, Überwachung von Fehlern und Fehlerverarbeitung assoziiert (Taylor et al., 2007). Dieses Modell lässt jedoch offen, welche genaue Rolle die anteriore Insula in diesem Netzwerk spielt.

Die in unserer Studie gefundene signifikante Aktivierung der anterioren Insula, reichte auch bis in den inferioren frontalen Gyrus. Der an diese Region angrenzende inferiore frontale Sulcus wurde in einer Studie bei der Verarbeitung von negativem Feedback gefunden (Ullsperger and von Cramon, 2003).

Der Thalamus wird weniger beständig bei fMRT-Studien im Zusammenhang mit Fehlerverarbeitung und negativem Feedback gefunden. Hester et al. (2004) konnte signifikante Aktivierungen des Thalamus zeigen, die im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Fehlern stehen. Ullsperger und von Cramon et al. (2003) fanden signifikante Aktivierungen der Habenula, einem Teil des Epithalamus. In unserer Studie konnte bei negativem im Vergleich zu positivem Feedback (affektive Wertigkeiten gepoolt) eine signifikante Aktivierung in der Habenula gefunden werden. Die Habenula wurde bei Ullsperger et al. 2003 zusammen mit dem rostralen cingulären Motorareal und der anterioren Insula aktiviert. Ähnliche Aktivierungen konnten auch in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden. Die Habenula kann wahrscheinlich modulierend auf das Belohnungssystem einwirken (Ullsperger and von Cramon, 2003). Nach negativem Feedback (Nichteintreten einer Belohnung in Form des positiven Feedbacks) konnten die Autoren nachlassende Aktivität in dopaminergen Arealen des ventralen Tegmentums (Mittelhirn) und der Substantia nigra (Basalganglien) feststellen. Die

genauen Mechanismen der Modulation der dopaminergen Neurone sind noch ungeklärt. Ullsperger et al. (2003) vermuten aber eine Inhibition dieser Areale durch die Habenula. Damit übernimmt die Habenula Funktionen im Bezug auf die Integration von Belohnungserwartung und dem tatsächlich eintretenden Ereignis (Belohnung oder Bestrafung). Nach dieser Theorie sollten die Kinder unserer Studie nach jedem Trial eine gewisse Belohnungserwartung empfunden haben. Eine wirklich hohe Belohnungserwartung der Kinder ist, wie zuvor beschrieben, eher unwahrscheinlich. Es ist aber dennoch möglich, dass die Kinder durch den Erhalt des negativen Feedbacks Enttäuschung empfunden haben. Auch Ullsperger et al. (2003) gibt an, dass die Belohnungserwartung vor Erhalt des Feedbacks nicht Null ist. Die Belohnungserwartung wird durch die Anzahl positiver Rückmeldungen und durch die Sicherheit über die Korrektheit der Antwort beeinflusst (Ullsperger and von Cramon, 2003). Es ist möglich, dass manche Kinder viele Trials in Folge richtig lösten, viel positives Feedback erhielten und damit eine Belohnungserwartung aufbauten. Des Weiteren ist es vorstellbar, dass einige Kinder sehr Selbstbewusst waren und sich folglich sehr sicher über die Korrektheit ihrer Antwort waren. Auch dies könnte eine Erklärung für den Aufbau einer Belohnungserwartung sein. Beim Erhalt von negativem Feedback wurde die Erwartung nicht erfüllt und resultierte vielleicht in einer signifikanten Aktivierung der Habenula.

4.2.2 Effekt der affektiven Wertigkeit

Im folgenden Abschnitt werde ich auf den Effekt der affektiven Wertigkeit des negativen Feedbacks auf die gefundenen neuronalen Korrelate eingehen und mit geeigneter wissenschaftlicher Literatur vergleichen. Zuerst werde ich negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit beschreiben. Im Anschluss wird das negative Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit behandelt. Eine Studie zur neuronalen Entwicklung fehlerverarbeitender Netzwerke konnte keine entwicklungsbedingten Unterschiede in Regionen die an der Verarbeitung von Emotionen beteiligt sind zeigen (van Duijvenvoorde et al., 2008). Es ist jedoch anzumerken, dass das von van Duijvenvoorde et al. (2008) verwendete Paradigma nicht entworfen wurde, um speziell die affektive Komponente von Feedback zu untersuchen.

Negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit

Entgegen der Erwartungen konnte im Zusammenhang mit der Verarbeitung von negativem Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit im Vergleich zu negativer Rückmeldung mit hoher affektiver Wertigkeit ein signifikant aktiviertes Cluster im inferioren Parietallappen gezeigt werden. Ochsner et al. (2004) finden signifikante Aktivierungen dieser Regionen im Zusammenhang mit der Runterregulierung von negativen Emotionen. Die Regulation der emotionalen Antwort auf ein Ereignis kann durch eine Neubewertung oder durch eine geistige Umwandlung der Emotion auslösenden Situation stattfinden. Die Neubewertung ist am effektivsten um negative Auswirkungen eines unangenehmen Ereignisses abzuschwächen. Es findet eine aktive Transformation der emotionalen Bedeutung des Ereignisses statt und nicht eine Störung der emotionalen Verarbeitung durch andere kognitive Prozesse (Ochsner et al., 2004). Im Hinblick auf unsere Studie wurde keine Runterregulierung der negativen Emotionen (ausgelöst durch das negative Feedback) von den Kindern verlangt. Die Kinder erhielten nach Bearbeitung der Aufgabe zuerst das negative Feedback über ihre eigene Leistung. Nach einer Sekunde wurde zusätzlich das Feedback der Peergroup eingeblendet. In der Bedingung mit niedriger affektiver Wertigkeit schnitten die meisten anderen Kinder (Peergroup) genauso schlecht ab wie die Testperson. Aus diesem Grund ist es denkbar, dass sich die Kinder erst über ihr schlechtes Abschneiden in der Aufgabe geärgert haben, dann aber versuchten die negativen Emotionen herunterregulierten, weil die meisten anderen Kinder die Aufgabe ebenfalls nicht korrekt lösen konnten. Das Feedback löste bei den Kindern vielleicht Erleichterung aus, da ihr Abschneiden besser als erwartet war. Sie konnten beispielsweise annehmen, dass diese Aufgabe besonders schwer war, da die meisten anderen Kinder es ebenfalls nicht geschafft haben richtig zu antworten. Ihr eigenes schlechtes Abschneiden wäre damit nichts außergewöhnliches, sondern etwas das auch vielen Gleichgesinnten bereits passiert ist.

Nach dem Herabsetzen des Signifikanzniveaus auf $p < .005$ konnte auch ein signifikant aktiviertes Cluster im rechten mittleren frontalen Gyrus gefunden werden. Diese Region ist ebenfalls an der Runterregulierung negativer Emotionen beteiligt (Ochsner et al., 2004). Dabei ist nach Ochsner et al. (2004), der rechte laterale PFK an Verhaltensinhibition und Interferenzverarbeitung (zwischen der ersten Bewertung und der Neubewertung) beteiligt. Beide Prozesse sind für die Neubewertung eines Ereignisses von großer Bedeutung.

Negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit

Bei diesem Kontrast (negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit) wurden signifikante Aktivierungen in Gehirnregionen vermutet, die besonders an der Verarbeitung der affektiven Komponente des Feedbacks beteiligt sind. Dazu gehören der rostrale Bereich des AC (Bush et al., 2000), die anteriore Insula (Ullsperger and von Cramon, 2003) und Regionen die an der Verarbeitung von selbstrelevanten Informationen beteiligt sind. In diesem Zusammenhang wird besonders der mediale und laterale Präfrontalkortex in der wissenschaftlichen Literatur erwähnt (Fossati et al., 2003; Ochsner et al., 2005). Entgegen der Erwartungen wurden bei einem Signifikanzniveau von $p < .001$ aber keine signifikanten Aktivierungen gefunden. Bei einer gesenkten Schwelle von $p < .005$ konnten, unter anderem im rechten inferioren frontalen Gyrus und dem rechten superioren temporalen Gyrus signifikante Aktivierungskluster gezeigt werden. Diese und weitere Regionen im lateralen Präfrontalkortex (PFK) wurden in Verbindung mit Verarbeitungsprozessen emotionaler Stimuli, die Bezug auf das „Selbst“ nehmen, beschrieben (Fossati et al., 2003; Ochsner et al., 2005). Der laterale PFK spielt nach Ochsner et al. (2005) eine Rolle bei der Bewertung von selbstgenerierten Informationen, die die eigenen Charaktermerkmale betreffen. In der vorliegenden Studie könnten diese selbstgenerierten Informationen für eine Unterscheidung des „Selbst“ von anderen (Peergroup) genutzt worden sein. Bei der Studie von Fossati et al. (2003) mussten die Probanden Persönlichkeitsmerkmale (positive und negative) unter drei verschiedenen Bedingungen (Selbstbezug, Bezug auf andere und Kontrollbedingung) bewerten. Die Autoren konnten keine signifikanten Unterschiede, im Bezug auf die Selbstrelevanz, zwischen der Verarbeitung von positiven und negativen Persönlichkeitsmerkmalen feststellen. Bei der Verarbeitung von emotionalen Informationen mit Selbstrelevanz ist die Wertigkeit des Stimuli demnach nicht von entscheidender Bedeutung (Fossati et al., 2003). Die in der vorliegenden Studie gefundenen signifikant aktivierten Gehirnregionen weisen darauf hin, dass die gefundenen Hirnregionen in die Verarbeitung selbstrelevanter Informationen involviert sind. In der negativen Feedbackbedingung mit hoher affektiver Wertigkeit könnte die Peergroup aufgrund ihrer besseren Leistung, vom Kind als Kontrahent in einem sozialen Kontext interpretiert worden sein. Dies könnten beispielsweise Klassenkameraden sein, die sich über den Misserfolg des Kindes freuen. In einer potentiellen sozialen Konfliktsituation

im Vergleich zu einer Situation in der Unterstützung oder zumindest keine Feindseligkeit, erwartet werden kann (Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit), ist vielleicht der Aspekt der Selbstrelevanz von besonderer Bedeutung. Der soziale Kontext beeinflusst die soziale Signifikanz der Situation (Vrticka et al., 2008) und damit vielleicht auch die Bedeutung der Verarbeitung selbstrelevanter Information. Mit der Rolle der sozialen Bewertung bei der Feedbackverarbeitung beschäftigt sich Vrticka et al. (2008) in seiner Studie. Die Probanden bekamen nach einer Aufgaben in der sie die Anzahl von Punkten schätzen sollten, positives (won) oder negatives (lost) Performancefeedback kombiniert mit fröhlichen oder wütenden Gesichtern. Die Bilder der Gesichter sollten andere Teilnehmer im Kontext eines virtuellen Spiels darstellen. Bei der Bedingung in der die Gesichter nicht mit dem Performancefeedback übereinstimmen (won + wütendes Gesicht und lost + fröhliches Gesicht), sollten die anderen Mitspieler als Gegner oder Kontrahent angesehen werden (Vrticka et al., 2008). Bei diesen beiden Bedingungen konnten signifikante Aktivierungen im inferioren frontalen Gyrus gezeigt werden (Vrticka et al., 2008). Die Autoren postulieren, dass affektive Bewertungsprozesse im Zusammenhang mit (sozialen) Konfliktsituationen stärker sind, wenn es um die Vermeidung von Sozialpartnern (hier Kontrahenten) geht. Das von Vrticka et al. (2008) entwickelte Feedback ähnelt sehr dem in dieser Studie verwendeten. In unserer Studie wurde das Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit nicht primär für die Erzeugung von sozialem Konflikt oder Zurückweisung entwickelt, es ist aber eine mögliche Interpretation. Beim negativem Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit erhält das Kind für seine Leistung negatives Feedback, die Peergroup jedoch positives. Das positive Feedback für die Peergroup wird durch drei kleine lächelnde Smilies symbolisiert. Im Kontrast zum negativen Feedback über die eigene individuelle Leistung der Kinder, ist es möglich, dass die anderen fröhlichen Kinder (Peergroup) als Kontrahenten interpretiert werden, die sich über das Scheitern des Kindes freuen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass in Abhängigkeit des Charakters und der sozialen Stellung innerhalb der Klassengemeinschaft durchaus unterschiedliche Interpretationen möglich sind. Ein Kind das weniger in das Sozialgefüge der Klasse integriert ist, sieht die Peergroup vielleicht mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als sozialen Gegner an, als es bei sehr beliebten Kindern der Fall seinen mag.

Es wurde entgegen der Erwartungen beim negativem Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit keine signifikante Aktivierung im rostralen AC (emotionale Region des AC

nach Bush et al. (2004)) und in der anterioren Insula, der Bewertungsfunktionen zugeschrieben werden (Ullsperger and von Cramon, 2003), gefunden. Dies könnte auf das Design der Aufgabe zurückzuführen sein. In Folge des bis zu 18 Sekunden langen Zeitraum zwischen Aufgabenbearbeitung und Feedbackpräsentation könnte sich die affektive Wirkung des Feedback abgeschwächt haben. Es ist möglich, dass die erwarteten Effekte nicht das Signifikanzniveau erreichten, ähnlich wie beim fehlenden Effekt der affektiven Wertigkeit auf die Verhaltensdaten. Auch möchte ich erneut auf die Ergebnisse des Fragebogens zur Bewertung der emotionalen Wirkung des Feedbacks hinweisen. Es konnte ein signifikant stärkerer emotionaler Effekt des Feedbacks mit hoher affektiver Wertigkeit gezeigt werden. Die meisten Kinder haben das Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit auch als emotionaler empfunden, als das Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit. Die Kinder freuten bzw. ärgerten sich in der Feedbackbedingung mit hoher affektiver Wertigkeit mehr als in der vergleichbaren Feedbackbedingung mit niedriger affektiver Wertigkeit. Es ist jedoch anzumerken, dass die Ergebnisse der Bewertung sehr heterogen sind. Fast ein Viertel der Kinder gaben an, sich über die hohe und niedrige affektive Bedingung des negativen Feedbacks gleich stark geärgert zu haben. Wenige Kinder gaben sogar an, dass sie sich bei negativem Feedback weniger stark geärgert, wenn die Peergroup besser abschnitt als sie. Auf Nachfragen, bestätigten die Kinder ihre unerwarteten Einschätzungen und gaben als Erklärung an, dass sie sich weniger stark geärgert haben, weil wenigstens die Anderen (die Peergroup) die Aufgabe richtig gelöst hatten. Die Auswertung des Fragebogens zeigt deutlich, dass die affektive Komponente des Feedbacks nicht im gewünschten Maße durch das Design des Feedbacks moduliert wurde. Dieser Befund ist eine mögliche Erklärung dafür, dass manche erwartete Effekte der affektiven Wertigkeit des Feedbacks, auf die Verhaltensdaten und die neuronalen Korrelate nicht gefunden werden konnten.

5 Fazit

Die vorliegende Studie ist eine der ersten fMRT-Studien, die sich mit der Feedbackverarbeitung und dem Einfluss der affektiven Wertigkeit des Feedbacks, bei Kindern beschäftigt. Zusammenfassend betrachtet, erfüllten die Ergebnisse unserer Studie einen Grossteil der Erwartungen. Für die Verarbeitung der negativen Rückmeldung (negatives Feedback hohe + niedrige affektive Wertigkeit > positives Feedback hohe + niedrige affektive Wertigkeit) konnten bei den Kindern Gehirnregionen gezeigt werden, die in anderen Fehler-Studien bei Erwachsenen gefunden wurden sind. Es wurden Gehirnregionen gefunden, die bei Erwachsenen in Verbindung mit Fehler- und Konfliktverarbeitung, emotionaler Bewertung und der Modulation des limbischen Systems stehen. Der Kontrast negatives Feedback mit niedriger affektiver Wertigkeit > negatives Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit zeigte, entgegen der Erwartungen, signifikante Aktivierungen. Die gefundenen Regionen werden bei Erwachsenen mit emotionaler Runterregulierung von negativen Gefühlszuständen assoziiert. Beim negativen Feedback mit hoher affektiver Wertigkeit konnten hypothesenkonform, Gehirnregionen gefunden werden, die bei Erwachsenen an der Verarbeitung von Informationen mit Selbstbezug beteiligt sind. Die erwarteten Aktivierungen in Regionen des medialen Präfrontalkortex (rostraler AC) und anteriorer Insula, wegen der Beteiligung dieser Regionen an der emotionalen Verarbeitung, konnten nicht gezeigt werden. Auch ein Effekt der affektiven Wertigkeit auf die Verhaltensdaten konnte nicht bestätigt werden. Dies ist wahrscheinlich auf den zum Teil 18 Sekunden langen Jitter und der damit einhergehenden Abminderung der affektiven Signifikanz des Feedbacks zurückzuführen. Bei den MR-Daten ist es ebenfalls möglich, dass die Anzahl der Ereignisse über die gemittelt wurde (ca. 12 Trials für jede affektive Bedingung), um den neurale Aktivierungsort zu bestimmen, zu klein war. Nach Huettel et al. (2001) sollte für verlässliche Daten über mindestens 25 Ereignisse gemittelt werden. In künftigen Studien kann der Fehleranteil nicht drastisch erhöht werden, da dies die Kinder zu stark demotivieren würde. Die Anzahl der Trial könnte nur erhöht werden, wenn die Aufgabe oder die zeitliche Abfolge verändert werden würde, um zu vermeiden, dass die Kinder zu lange im Scanner liegen müssen.

Zusätzlich zeigen die Ergebnisse, dass das eingesetzte Feedback in den verschiedenen affektiven Bedingungen nicht emotional genug war. Dies bestätigen auch die Ergebnisse des Fragebogens, viele Kinder empfanden die hoch und niedrig affektive

Bedingung als gleichwertig emotional belastend. Es bietet sich damit an, in künftigen Folgestudien zu versuchen das Feedback umzugestalten, um möglichst eine einheitliche Wirkung des Feedbacks auf die Kinder zu erzielen.

5.1 Ausblick

Dies ist eine der ersten Studien die sich mit dem Aspekt der Verarbeitung von selbstrelevanter Information bei der Feedbackverarbeitung bei Kindern beschäftigt. Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich lediglich mit der Verarbeitung von negativem Feedback. Daher wäre es interessant zu überprüfen, ob auch bei der Verarbeitung des positiven Feedbacks Gehirnregionen, die mit Selbstrelevanz assoziiert sind, aktiviert wurden. Für eine Folgestudie bietet sich des Weiteren eine Adaptation des Paradigmas für Erwachsene an. So könnten entwicklungsbedingte Unterschiede bei der Feedbackverarbeitung bei Kindern und Erwachsenen untersucht werden. In diesem Kontext wäre besonders ein Vergleich der emotionalen Netzwerke, die an der Feedbackverarbeitung beteiligt sind, interessant. Ein viele Projektteile übergreifendes, Ziel dieser Studie ist die Entwicklung besserer Lehr-Methoden in Schulen. Die Lehrmaterialien sollen Lehrer anleiten und helfen den Kindern Rückmeldung in einer angemessenen Form zu geben. Es wird ein positiver Effekt auf den Umgang mit Fehlern und die Effizienz des Lernens erhofft. Die entwickelten Lehr-Methoden sollen auf diese Weise zu einer angenehmeren und entspannteren Lernumgebung in Schulen beitragen.

6 Literaturverzeichnis

- Bush G, Luu P, Posner MI (2000) Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 4:215-222.
- Carter CS, Braver TS, Barch DM, Botvinick MM, Noll D, Cohen JD (1998) Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science* 280:747-749.
- Clauß G. EH (1979) Grundlagen der Statistik für Psychologen Pädagogen und Soziologen, 3., verbesserte Auflage Edition. Thun und Frankfurt am Main: Verlag Herri Deutsch.
- Fossati P, Hevenor SJ, Graham SJ, Grady C, Keightley ML, Craik F, Mayberg H (2003) In search of the emotional self: an fMRI study using positive and negative emotional words. *Am J Psychiatry* 160:1938-1945.
- Gruber H (2003) Fehlerorientierung im betrieblichen Arbeitsalltag Ein Vergleich zwischen Führungskräften und Beschäftigten ohne Führungsfunktion.
- Hester R, Fassbender C, Garavan H (2004) Individual differences in error processing: a review and reanalysis of three event-related fMRI studies using the GO/NOGO task. *Cereb Cortex* 14:986-994.
- Holroyd CB, Nieuwenhuis S, Yeung N, Nystrom L, Mars RB, Coles MG, Cohen JD (2004) Dorsal anterior cingulate cortex shows fMRI response to internal and external error signals. *Nat Neurosci* 7:497-498.
- Jäncke L (2005) Methoden der Bildgebung in der Psychologie und den kognitiven Neurowissenschaften. Stuttgart: Verlag W. Kohlmann.
- Marco-Pallares J, Muller SV, Munte TF (2007) Learning by doing: an fMRI study of feedback-related brain activations. *Neuroreport* 18:1423-1426.
- Mutschler I, Wieckhorst B, Kowalevski S, Derix J, Wentlandt J, Schulze-Bonhage A, Ball T (2009) Functional organization of the human anterior insular cortex. *Neurosci Lett* 457:66-70.

- Nieuwenhuis S, Slagter HA, von Geusau NJ, Heslenfeld DJ, Holroyd CB (2005) Knowing good from bad: differential activation of human cortical areas by positive and negative outcomes. *Eur J Neurosci* 21:3161-3168.
- Ochsner KN, Ray RD, Cooper JC, Robertson ER, Chopra S, Gabrieli JD, Gross JJ (2004) For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *Neuroimage* 23:483-499.
- Ochsner KN, Beer JS, Robertson ER, Cooper JC, Gabrieli JD, Kihlstrom JF, D'Esposito M (2005) The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *Neuroimage* 28:797-814.
- Purves D (2008) *Neuroscience*, 4th Edition: Sinauer Associates Inc. USA.
- Ridderinkhof KR, Ullsperger M, Crone EA, Nieuwenhuis S (2004) The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science* 306:443-447.
- Rybowiak V. GH, Frese M., Batinic B. (1999) Error Orientation Questionnaire (EOQ): reliability, validity, and different language equivalence. *Organiz Behav* 20:527-547.
- Samanez-Larkin GR, Hollon NG, Carstensen LL, Knutson B (2008) Individual differences in insular sensitivity during loss anticipation predict avoidance learning. *Psychol Sci* 19:320-323.
- Singer T, Lamm C (2009) The social neuroscience of empathy. *Ann N Y Acad Sci* 1156:81-96.
- Taylor SF, Stern ER, Gehring WJ (2007) Neural systems for error monitoring: recent findings and theoretical perspectives. *Neuroscientist* 13:160-172.
- Ullsperger M, von Cramon DY (2003) Error monitoring using external feedback: specific roles of the habenular complex, the reward system, and the cingulate motor area revealed by functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci* 23:4308-4314.

van Duijvenvoorde AC, Zanolie K, Rombouts SA, Raijmakers ME, Crone EA (2008) Evaluating the negative or valuing the positive? Neural mechanisms supporting feedback-based learning across development. *J Neurosci* 28:9495-9503.

van Veen V, Carter CS (2006) Error detection, correction, and prevention in the brain: a brief review of data and theories. *Clin EEG Neurosci* 37:330-335.

Vrticka P, Andersson F, Grandjean D, Sander D, Vuilleumier P (2008) Individual attachment style modulates human amygdala and striatum activation during social appraisal. *PLoS One* 3:e2868.

6.1 Quellenverzeichnis Abbildungen

Abb. 1: Mediale Ansicht des menschlichen Gehirns

<http://www.amazon.com/Neurology-Cognitive-Behavioral-Disorders-Devinsky/dp/0195137647#reader>

Abb. 2: Verlauf des BOLD-Signals

Jäncke L (2005) Methoden der Bildgebung in der Psychologie und den kognitiven Neurowissenschaften. Stuttgart: Verlag W. Kohlmann. S. 82

Abb. 6: Grafik der Hand (verändert)

<http://www.designofsignage.com/application/symbol/hands/largesymbols/press-button-2.html>

7 Anhang

7.1 Fragebogen zur Abklärung von Kontraindikationen

Fragebogen zur Abklärung von Kontraindikationen für MRT

- für Eltern und Kinder -

Wichtig: Dieses Formular muß von allen Personen (Eltern und Kinder), die den Bereich des Magnetresonanztomographen betreten, sorgfältig ausgefüllt werden. Die folgenden Gegenstände können unter Umständen eine große Gefahr für die Personen darstellen, oder aber Artefakte bei den gewonnenen Daten verursachen (weitere Informationen auf der Rückseite).

Bitte fragen Sie, wenn Sie beim Ausfüllen des Formulars Hilfe benötigen.

Hat Ihr Kind einen der folgenden Gegenstände im oder am Körper?

	Ja	Nein	unsicher
Herzschrittmacher			
Künstliche Herzklappen			
Clips oder Klammern (z.B. nach Operationen)			
Nervenstimulator			
andere Bio-Stimulatoren			
Cochlea Implantat			
andere interne Elektroden oder Kabel			
Insulinpumpe			
andere Pumpen zur Medikamentengabe			
Elektrische oder magnetische Implantate			
Orthopädische Implantate			
Künstliche Gelenke oder Gliedmaßen			
Prothesen			
irgendwelche anderen Metallteile oder Fremdkörper			
Hörgerät			
Zahnersatz, Zahnspangen			
Tätowierungen; permanentes make-up oder Piercing			
irgendwelche Implantate, die durch Magnete gehalten werden			

Hatte Ihr Kind Operationen?

Ja/Nein

Wenn ja, wann und welche?

Aufgabenblatt 1	Zuordnung: Namen – Abkürzungen	Nr: _____
-----------------	--------------------------------	-----------

Aufgabe:

Finde Abkürzungen für die Vornamen.

Beachte dabei folgende Regeln:

- 1) Die Abkürzung besteht aus zwei Buchstaben
- 2) Die Abkürzung muss mit dem ersten Buchstaben des Namens anfangen.
- 3) Beide Buchstaben müssen in dem Namen vorkommen.
- 4) Der erste Buchstabe muss groß und der zweite klein geschrieben werden.
- 5) Man soll anschließend jede Abkürzung einem Namen eindeutig zuordnen könne, also darf keine Abkürzung doppelt sein!

Anna	→	
Antonia	→	
Arne	→	
Alina	→	
Alexander	→	

Lea	→	
Laura	→	
Leon	→	
Lena	→	
Lennart	→	

Aufgabenblatt 2

Zuordnung: Namen – Symbol

Aufgabe:

Hier sind die Namen einiger magischer Stoffe und ihre Abkürzungen aufgelistet.

Welche Abkürzung passt zu welchem Stoff?

Verbinde mit einem Strich die Abkürzung mit dem passenden Namen.

Mk
Bn
Wr
Lb
Js
Pw
Gi
Sa
Lo
Jl
Wa
Ms
Su
Bw
Pe
Gn

Wintri
Grilam
Jelben
Mukut
Sochtu
Bramind
Labdi
Gremant
Bowal
Lefor
Porwi
Jastam
Wasunt
Pekir
Sambol
Mobus

Aufgabenblatt 3**Zuordnung: Namen – Formel**

Bei der Herstellung von Zaubertränken verbinden sich magische Stoffe untereinander. Solche Verbindungen können aus zwei, drei oder auch ganz vielen Teilchen bestehen.

Indem man die Abkürzungen der Teilchen nebeneinander schreibt, drückt man aus, dass sich die Teilchen untereinander verbunden haben. Die Verbindung der Teilchen untereinander kann man noch durch eine kurze Verbindungslinie zwischen ihnen verdeutlichen. Für die Verbindung von Grilam und Dalgon kann man zum Beispiel Gi–DI schreiben.

Aufgabe:

Schau dir das Dominospiel (Umschlag 1) an. Findest du zu den Formeln den passenden Namen der Verbindung? Du kannst entweder mit einer Formel oder einem Namen beginnen.

Sehr häufig kommt in einem Zaubertrank ein Stoff nicht nur einmal vor, sondern zwei oder drei Mal oder noch öfter. Das zu wissen ist sehr wichtig, denn es verändert die Wirkung des Zaubertranks.

Um am Namen des Zaubertranks zu erkennen, wie viele Teilchen von welchem magischen Stoff in einer Verbindung sind, verwenden Hexen und Zauberer einen Trick. Sie benutzen kurze Silben, um die Anzahl der Teilchen zu benennen.

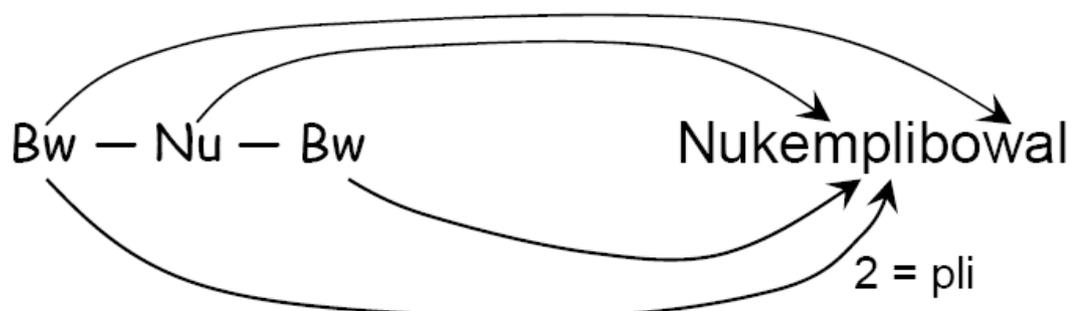
Versuche deshalb Dir die folgenden 3 **Zahlwörtern** gut einzuprägen:

pli = 2

pla = 3

plo = 4

Um dies besser zu verstehen, schauen wir uns an wie ein Zauberer seine Tränke nennt:



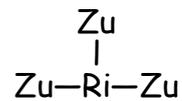
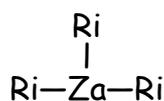
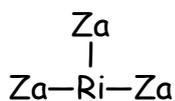
Aufgabe:

Auf der nächsten Seite siehst Du viele Zaubertrankflaschen. Die Flaschen mit den Zaubertränken sind jedoch noch nicht beschriftet. Kannst Du sagen, welcher Trank in welcher Flasche ist?

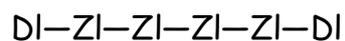
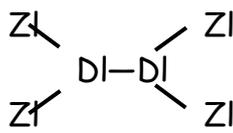
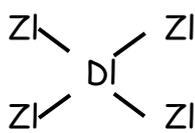
Ordne die Etiketten (aus Umschlag 2) den Flaschen auf der nächsten Seite zu.

Welche der folgenden Zauberformeln sind nicht richtig? Streiche die jeweiligen falschen Versionen der entsprechenden Formeln durch. Es ist jeweils eine richtig.

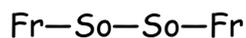
1. Ripatplazorack



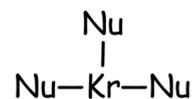
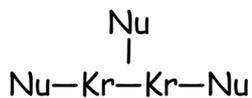
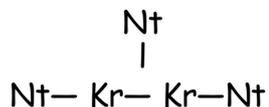
2. Plidalgonplozeldur



3. Plasochtuplifribul



4. Plikabrilplanukem



Hier noch einmal zusammenfassend die wichtigsten Regeln:

1. Die Abkürzungen müssen immer aus 2 Buchstaben bestehen.
2. Die Abkürzung muss mit dem ersten Buchstaben des Namens anfangen.
3. Beide Buchstaben müssen in dem Namen vorkommen.
4. Ein Stoff kann im Zaubertrank 2, 3 oder 4 mal vorkommen.
pli = 2
pla = 3
plo = 4
5. Das Zahlwort steht immer vor dem Stoffnamen.
6. Der Stoff, der in der Formel in der Mitte ist, steht im Verbindungsnamen immer vorne.

Vp-Nr:

Instruktionen



Nachdem Du Dich nun mit den einzelnen Regeln zur Benennung von Zaubertränken beschäftigt hast, kommen wir zur eigentlichen Aufgabe.

Wir wollen nun sehen, wie gut Du die Regeln gelernt hast und wie gut Du sie anwenden kannst. Es ist sehr wichtig, dass Du die Zahlwörter (pli, pla oder plo) gut kennst und anwenden kannst. Bitte sag Bescheid, wenn Du dabei noch unsicher bist.



Wir üben die Aufgabe heute erst einmal in unserer nachgebauten Kernspinumgebung. Dabei liegst Du auf einer Liege und siehst über eine Spiegelkonstruktion die Aufgabe auf dem Bildschirm. Ganz zu Beginn siehst Du in der Mitte ein Kreuz, auf das Du ganz ruhig blicken sollst. In jedem Durchgang der Aufgabe wirst Du auf dem Bildschirm den Namen eines Zaubertrankwortes sehen und unter dem Zaubertrankwort zwei verschiedene Zauberformeln (*Beispiel auf den folgenden Seiten*). Zusätzlich hörst Du den Namen des Zaubertrankwortes über den Kopfhörer. Nun musst Du versuchen, so schnell wie möglich die zum Wort passende Formel zu erkennen. Dazu benutzt du die eben gelernten Regeln.

Sobald Du dich entschieden hast, drücke sofort auf die entsprechende Taste des Antwortgerätes (*Seite 3*). Zur Bestätigung Deiner Antwort leuchtet zeitgleich mit dem Tastendruck kurz das Kreuz in der Mitte auf. Ein wenig später erhältst Du (in Form eines Smilies) eine Rückmeldung darüber, ob Du richtig oder falsch geantwortet hast.

Da wir die Aufgabe bereits an einer großen Anzahl von Schülern getestet haben wissen wir, wie diese Kinder die einzelnen Aufgaben bearbeitet haben. Daher können wir Dir zusätzlich rückmelden, ob Du besser, schlechter oder ähnlich wie die anderen Kinder abgeschnitten hast (*siehe Smilies auf den folgenden Seiten*). Es kann allerdings manchmal ein wenig länger dauern, bis du die Rückmeldung erhältst, denn der Computer braucht Zeit, um Deine Antwort mit denen der anderen Kinder zu vergleichen.

Wichtig:

Du solltest immer versuchen, so schnell wie möglich zu antworten, denn Du hast nur wenig Zeit. Wenn die Zauberformeln ausgeblendet werden hast Du eine letzte Gelegenheit, schnell zu antworten. Gelingt es Dir einmal nicht rechtzeitig, dann siehst du eine Uhr. Versuche dann bitte, beim nächsten Mal etwas schneller zu sein.



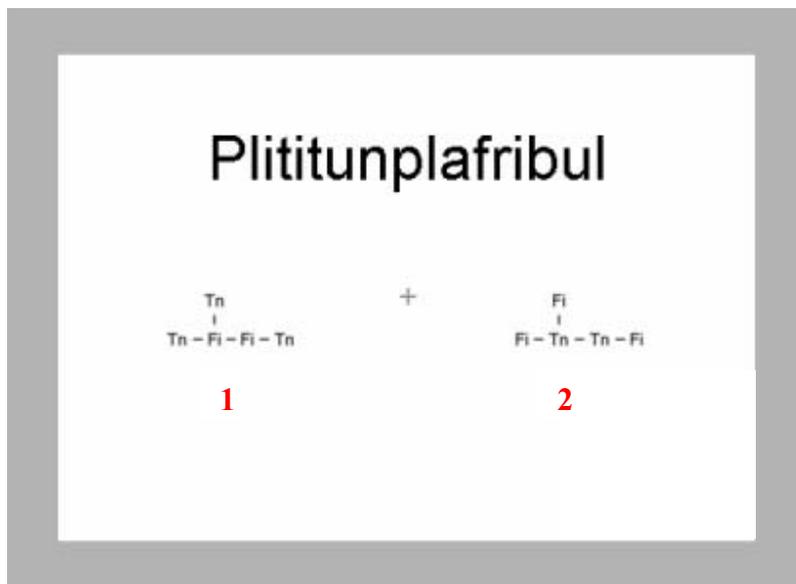
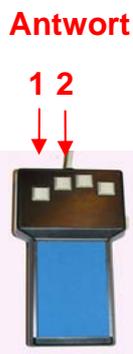
Und noch etwas solltest Du beachten: Bei dieser Aufgabe hast Du manchmal längere Wartezeiten

- zwischen Antwort und Rückmeldung und
- zwischen dem Ende der einen Aufgabe und dem Beginn der nächsten

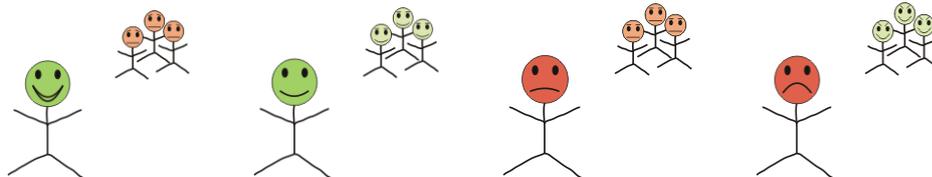
Versuche in diesen Wartezeiten ruhig auf das Kreuz zu blicken, das Du in der Mitte des Bildschirms siehst.

Vier Dinge sind für die Kernspin-Untersuchung ganz besonders wichtig. Diese kannst Du schon jetzt in unserem Kernspin-Nachbau üben:

1. **Dass Du ganz still liegen bleibst.** Da wir ganz viele Bilder von Deinem Kopf aufnehmen, solltest Du *während der gesamten Untersuchung* den Kopf so ruhig wie möglich liegen lassen. Dafür ist es auch wichtig, dass Du Arme und Beine möglichst nicht bewegst, denn dabei kann es leicht passieren, dass sich der Kopf mitbewegt.
2. **Dass Du Deine Augen ganz ruhig hältst.** Halte Deinen Blick *während der Messungen* so ruhig wie möglich in der Mitte des Bildschirms, wo auch alle Bilder zu sehen sind. Es ist sehr wichtig, dass Du mit Deinem Blick nicht umherschweifst.
3. **Dass Du Deinen Mund möglichst nicht bewegst.** Bitte sprich die Formeln nicht laut nach. Dein Mund sollte, wie Dein übriger Körper, während der Untersuchung möglichst ruhig bleiben (innerlich nachsprechen ist natürlich kein Problem, wenn Du das möchtest).
4. Beine bitte ganz entspannt auf der Liege ruhen lassen, **Arme und Beine nicht überkreuzen.**

Die Aufgabe:**Das Antwortgerät:****Die Smilies:**

Der große Smilie im Vordergrund sagt Dir immer ob Du richtig oder falsch geantwortet hast und die kleinen Smilies im Hintergrund stellen die anderen Schüler dar. Schreibe jetzt in die leeren Kästchen das passende Wort, entweder **richtig** oder **falsch**:



Du hast die Aufgabe

beantwortet.

Die anderen haben
die Aufgabe

beantwortet.

Fragen zur Übung

Vp-Nr:

1) Hast Du geraten? Wenn ja, wie häufig?

-
- Ja
-
-
- Nein
-
- Falls ja, wie häufig?
-
- selten
-
- manchmal
-
- häufiger
-
- viel

2) Wurden die Formeln ausreichend lange gezeigt?

-
- Ja
-
-
- Nein

Wenn nein, warum?

3) Kamst du gut mit dem Tastendruckgerät zurecht, waren die Tasten leicht zu drücken?

-
- Ja
-
-
- Nein

4) Waren die Wörter gut über die Kopfhörer zu verstehen?

-
- Ja
-
-
- Nein

5) Konntest Du die Formeln und Wörter über den Spiegel gut erkennen?

-
- Ja
-
-
- Nein

6) Wie fandest Du die Aufgabe insgesamt?

-
- Leicht
-
- Mittel
-
- Schwer

7.3 Fragebogen zur emotionalen Bewertung des Feedbacks

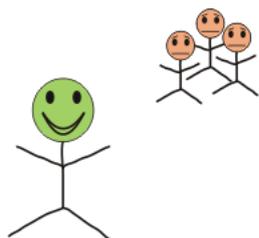
Vp-Nr:

Nun haben wir noch einige Fragen zum Versuch:

1) Rückmeldungen:

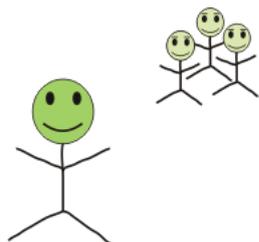
Wie sehr hast Du Dich gefreut, wenn diese Rückmeldung gezeigt wurde?

Bitte zutreffendes ankreuzen.



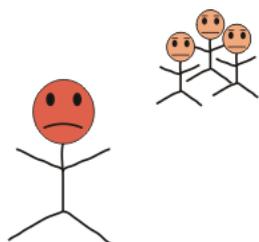
gar nicht	
ein wenig	
mittelmäßig	
ziemlich	
sehr doll	

Wie sehr hast Du Dich gefreut, wenn diese Rückmeldung gezeigt wurde?



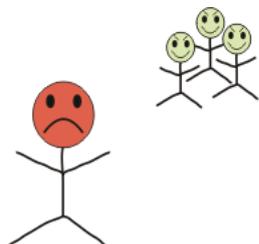
gar nicht	
ein wenig	
mittelmäßig	
ziemlich	
sehr doll	

Wie sehr hast Du Dich geärgert, wenn diese Rückmeldung gezeigt wurde?



gar nicht	
ein wenig	
mittelmäßig	
ziemlich	
sehr doll	

Wie sehr hast Du Dich geärgert, wenn diese Rückmeldung gezeigt wurde?



gar nicht	
ein wenig	
mittelmäßig	
ziemlich	
sehr doll	

7.4 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Ort, Datum

Sabrina Pelz