

EFFEKTE VON ALTER UND MORBUS PARKINSON
AUF DAS LERNEN DURCH FEEDBACK BEIM
KATEGORISIEREN



Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Julia Schmitt-Eliassen

Kiel (2007)

Erstgutachter: Prof. Dr. R. Ferstl

Zweitgutachter: Prof. Dr. G. Köhnken

Tag der mündlichen Prüfung: 15.06.07

Durch den zweiten Prodekan, Prof. Dr. L. Steindorff, zum Druck genehmigt am: 11.07.07

INHALTSVERZEICHNIS

1 THEORETISCHER HINTERGRUND.....	6
1.1 EINLEITUNG: VERSCHIEDENE LERNSYSTEME IM MENSCHLICHEN GEHIRN	6
1.2 DIE BASALGANGLIEN – FUNKTION UND DYSFUNKTION	7
1.2.1 <i>Aufbau und Funktionsweise</i>	7
1.2.2 <i>Morbus Parkinson</i>	11
1.2.2.1 <i>Allgemeines/Symptome</i>	11
1.2.2.2 <i>Pathologie</i>	12
1.2.2.3 <i>Kognitive Beeinträchtigungen bei Patienten mit Morbus Parkinson</i>	14
1.3 IMPLIZITES VERSUS EXPLIZITES LERNEN	17
1.3.1 <i>Allgemeine theoretische Überlegungen</i>	17
1.3.2 <i>Fertigkeitenlernen (skill learning)</i>	20
1.4 VERSCHIEDENE LERNSYSTEME BEIM KATEGORIENLERNEN	22
1.4.1 <i>Theoretische Überlegungen</i>	22
1.4.2 <i>Bildgebende Studien zu regelbasiertem und prozeduralem Kategorienlernen</i>	29
1.4.3 <i>Empirische Befunde zu separaten Lernsystemen beim Kategorienlernen</i>	29
1.4.4 <i>Die Rolle des Striatums beim perzeptuellen Kategorienlernen – Studien mit Patienten</i>	32
1.4.5 <i>Probabilistisches Klassifikationslernen (habit learning)</i>	34
1.4.6 <i>Lernen künstlicher Grammatiken und prototypischer Punktmuster</i>	40
1.4.7 <i>Schlussfolgerungen zum striatalen System beim Kategorienlernen</i>	41
1.5 BEDEUTUNG DES STRIATUMS FÜR FEEDBACK-BASIERTES LERNEN.....	43
1.5.1 <i>Befunde zum instrumentellen Konditionieren</i>	43
1.5.2 <i>Bedeutung des Striatums für die Verarbeitung von Feedback beim probabilistischen Klassifikationslernen</i>	48
1.6 ABLEITUNG DER INHALTLICHEN FRAGESTELLUNG - PARKINSONPATIENTEN	52
1.7 ALTER UND FEEDBACK-BASIERTES LERNEN	54
1.8 ABLEITUNG DER INHALTLICHEN FRAGESTELLUNG - ÄLTERE	56
1.9 ZUSAMMENFASSUNG - INHALTLICHE HYPOTHESEN	56
2 METHODISCHER TEIL.....	57
2.1 STICHPROBE	57
2.2 DURCHFÜHRUNG	59
2.2.1 <i>Beck Depressionsinventar (BDI)</i>	59
2.2.2 <i>Mehrfachwahl-Wortschatztest B (MWT-B)</i>	60
2.2.3 <i>Mattis Demenz Skala (MDS)</i>	60
2.2.4 <i>Computergestütztes Paradigma zum Kategorienlernen</i>	61
2.2.4.1 <i>Generierung der Stimuli</i>	61

2.2.4.2 Durchführung	65
2.2.4.2.1 Feedback-basierte Bedingung	65
2.2.4.2.2 Beobachtungsbedingung	67
2.2.5 Untertest „Längenschätzung“ aus der computergestützten Testbatterie zur Erfassung visuell- räumlicher Wahrnehmungsleistungen	68
3 ERGEBNISSE	69
3.1 VERGLEICH VON PARKINSONPATIENTEN UND ÄLTEREN KONTROLLPROBANDEN	69
3.1.1 Demographische Daten und Begleitdiagnostik.....	69
3.1.2 Kategorienlernen	73
3.1.2.1 Testblöcke	73
3.1.2.2 Lernblöcke.....	75
3.1.2.3 Transferblock und Regelfrage	76
3.2 VERGLEICH DER ÄLTEREN UND JÜNGEREN GESUNDEN KONTROLLPROBANDEN	77
3.2.1 Demographische Daten und Begleitdiagnostik.....	77
3.2.2 Kategorienlernen	79
3.2.2.1 Testblöcke	79
3.2.2.2 Lernblöcke.....	81
3.2.2.3 Transferblock und Regelfrage	81
3.3 EXPLORATIVE ANALYSE DES STRATEGISCHEN VORGEHENS.....	82
4 DISKUSSION	92
4.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	92
4.2 AUSWIRKUNGEN DER DOPAMINERGEN DYSFUNKTION BEIM MORBUS PARKINSON AUF DAS KATEGORIENLERNEN	94
4.3 AUSWIRKUNGEN DES ALTERS AUF DAS KATEGORIENLERNEN.....	103
4.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN	106
5 ZUSAMMENFASSUNG DER STUDIE	107
6 LITERATUR.....	108
7 DANKSAGUNG.....	119
ANHANG A: BECK DEPRESSIONSINVENTAR (BDI)	120
ANHANG B: MATTIS DEMENZ SKALA	123
ANHANG C: MEHRFACHWAHL-WORTSCHATZTEST B (MWT-B).....	133
ANHANG D: AUFKLÄRUNGSBOGEN FÜR PATIENTEN.....	136
ANHANG E: AUFKLÄRUNGSBOGEN FÜR PROBANDEN.....	137

ANHANG F: EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG138

ANHANG G: LEBENSLAUF139

1 Theoretischer Hintergrund

1.1 Einleitung: Verschiedene Lernsysteme im menschlichen Gehirn

In den letzten Jahren wurde von Wissenschaftlern im Bereich der Neuropsychologie eine Fülle von verschiedenen Lernparadigmen mit dem Ziel entwickelt, menschliches Lernverhalten sowohl auf der Verhaltensebene als auch neurobiologisch genauer beschreiben zu können. Es wird in diesem Zusammenhang in der Literatur immer wieder von verschiedenen Lernsystemen gesprochen, die sich neuroanatomischen bzw. neurophysiologischen Systemen zuordnen lassen. Die entwickelten Lernparadigmen wurden mit verschiedenen experimentellen Manipulationen an gesunden Menschen und verschiedenen Patientengruppen getestet, um die Dissoziation verschiedener am Lernen beteiligter Systeme zeigen zu können. Dabei geht es im nächsten Schritt immer um die Frage, welche Eigenschaften einer Lernaufgabe das eine oder das andere System ansprechen, um die Art, wie die unterschiedlichen Systeme lernen, genauer erklären zu können. Damit in Verbindung steht letztlich auch die Frage, wieso es überhaupt unterschiedliche Systeme gibt. Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zum Verständnis der Lernsysteme und der damit in Verbindung stehenden Aufgabeneigenschaften leisten und beschäftigt sich insbesondere mit der Funktion der Basalganglien beim Lernen. Eine Reihe von einflussreichen Publikationen und Übersichtsarbeiten beschäftigt sich mit dem so genannten striatalen Lernsystem (das Striatum ist ein wichtiger Teil der Basalganglien) und seinen Eigenschaften sowie der Abgrenzung zu anderen, insbesondere dem medial temporalen System (Knowlton, Mangels & Squire, 1996a; Seger, 2006; Yin & Knowlton, 2006). Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Bedeutung des Striatums für das Lernen genauer zu untersuchen, indem die Leistung von Patienten mit Morbus Parkinson - einer Erkrankung, die eine Beeinträchtigung der striatalen Funktion mit sich bringt - in einer bestimmten Lernaufgabe untersucht wird. Im theoretischen Teil dieser Arbeit sollen zunächst Neuroanatomie und Neurophysiologie des striatalen Systems sowie die Veränderungen in diesem System durch Morbus Parkinson zusammenfassend beschrieben werden, bevor theoretische Überlegungen und empirische Befunde zur Bedeutung des striatalen Systems für das menschliche Lernen vorgestellt werden. Auf dieser Grundlage folgt schließlich die Entwicklung der inhaltlichen Fragestellung und Hypothesen, mit denen der theoretische Teil dieser Arbeit abschließt.

1.2 Die Basalganglien – Funktion und Dysfunktion

1.2.1 Aufbau und Funktionsweise

Unter dem Begriff „Basalganglien“ wird eine Ansammlung von Vorderhirnnuclei zusammengefasst, die sich unterhalb des vorderen Neokortex‘ befinden (siehe Abbildung 1). Es gibt keine eindeutige Definition und Abgrenzung, und je nach Autor werden unterschiedliche Strukturen dazugezählt: das Putamen, der Nucleus caudatus und Nucleus accumbens (zusammen auch als Striatum bezeichnet), Globus pallidus und die Amygdala (Kolb & Whishaw, 1996), andere zählen die Amygdala nicht dazu, nennen aber noch den Nucleus subthalamicus und die Substantia nigra (eine Struktur des Mittelhirns) (Seger, 2006).

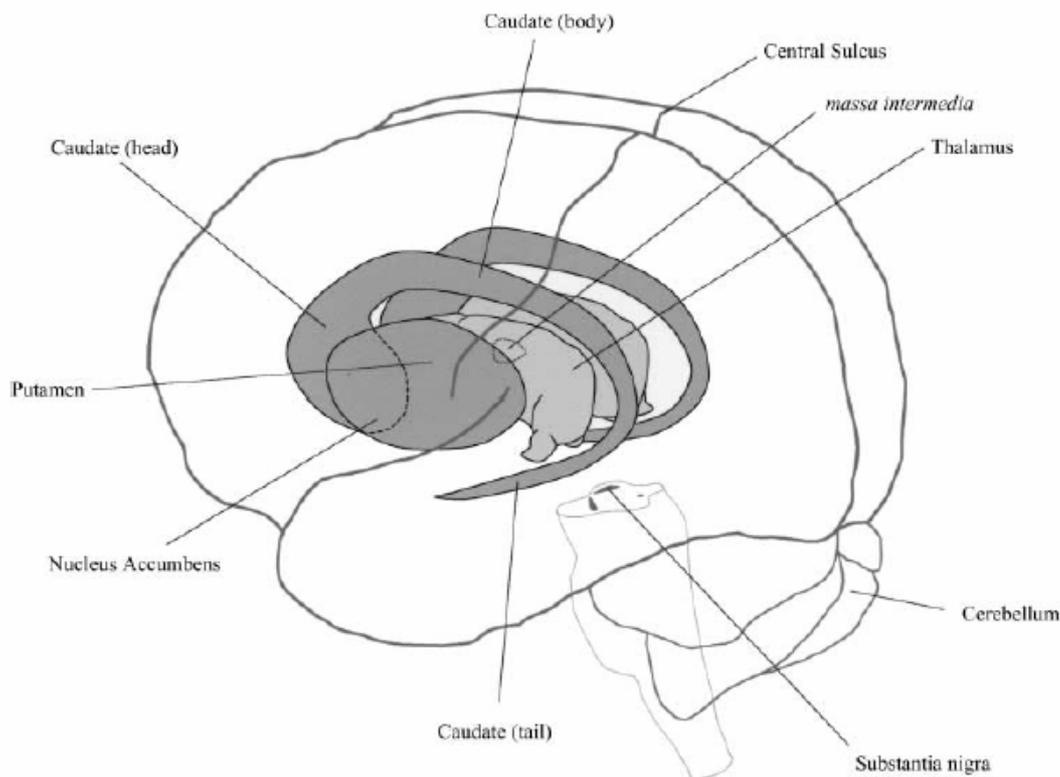


Abbildung 1. Darstellung der anatomischen Lage der einzelnen Strukturen der Basalganglien, gesehen von links. Übernommen aus Herrero, Barcia und Navarro (2002).

Fast alle Kortexregionen und verschiedene Kerne des Thalamus‘ projizieren zu den Basalganglien. Ein einflussreiches Modell der Basalganglien beschreibt verschiedene, anato-

misch und funktionell voneinander getrennte Verarbeitungsschleifen: Verschiedene Kortexregionen projizieren zu den Basalganglien, von dort zum Thalamus und zurück zum Kortex (Alexander, Crutcher & DeLong, 1990). In diesem Modell werden vier dieser Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleifen genannt:

- Die motorische Schleife, über die die Basalganglien mit dem motorischen Kortex (primär motorischer Kortex, prämotorischer Kortex und supplementär motorischer Kortex) verbunden sind, innerhalb der Basalganglien ist insbesondere das Putamen beteiligt. Die Schleife reguliert die Vorbereitung und Ausführung von Bewegungen, entsprechend führt eine gestörte Verarbeitung zu Bewegungsstörungen wie z.B. beim Morbus Parkinson. Darauf wird später noch genauer eingegangen.
- Die okulomotorische (oder visuelle) Schleife, bei der auf Seiten der Basalganglien der Körper und Schwanz des Nucleus caudatus die zentrale Rolle spielt, die Schleife projiziert auf die frontalen Augenfelder und reguliert im traditionellen Modell die Augenbewegungen, wurde später jedoch auch mit allgemeineren visuellen Funktionen und visuellem Lernen in Verbindung gebracht.
- Die präfrontale (oder exekutive) Schleife, die den dorsolateral präfrontalen und den lateral orbitofrontalen Kortex auf Kortexseite und den Nucleus caudatus (Kopf) auf Basalganglienseite einbezieht und traditionell mit kognitiven Funktionen, u.a. mit visuell-räumlichen Repräsentationen und Funktionen des Kurzzeitgedächtnisses (dorsolateral präfrontaler Teil) und kognitiver Flexibilität bzw. Perseverationen (lateral orbitofrontaler Teil) in Verbindung gebracht wird.
- Die limbische (oder motivationale) Schleife, die auf den anterioren cingulären und den medialen orbitofrontalen Kortex projiziert, auf Basalganglienseite ist für diese Schleife das ventrale Striatum (Nucleus accumbens) von Bedeutung. Traditionell wird diese Schleife mit motivationalen bzw. emotionalen Aspekten der Verarbeitung in Verbindung gebracht.

Die motorische, die limbische und die präfrontale Verarbeitungsschleife werden auch bei Rolls (1994) beschrieben. Mittlerweile ist sehr viel über die genauen Verschaltungen und die beteiligten Neurotransmitter bekannt, und dem traditionellen Modell der kortiko-subkortikalen Schleifen wurden verschiedene, teilweise topographisch organisierte „Unterschleifen“ („microcircuits“) hinzugefügt und die funktionelle Unterteilung, aber auch die

Konvergenz von Informationen genau beschrieben (Nakano, Kayahara, Tsutsumi & Ushiro, 2000). Stark vereinfacht sind jedoch alle Schleifen so aufgebaut, dass bestimmte kortikale Areale ein glutamaterges, exzitatorisches Signal an bestimmte Regionen des Striatums senden (die sogenannten Eingangsstrukturen der Basalganglien: Putamen, Nucleus caudatus oder ventrales Striatum) und von dort Projektionen zu den Ausgangsstrukturen der Basalganglien verlaufen (Globus pallidus, pars interna; Substantia nigra, pars reticulata), die wiederum einen GABA-vermittelten, inhibitorischen Effekt auf den Thalamus ausüben, der mit den Projektionen zum Kortex die Schleife schließt (siehe Abbildung 2).

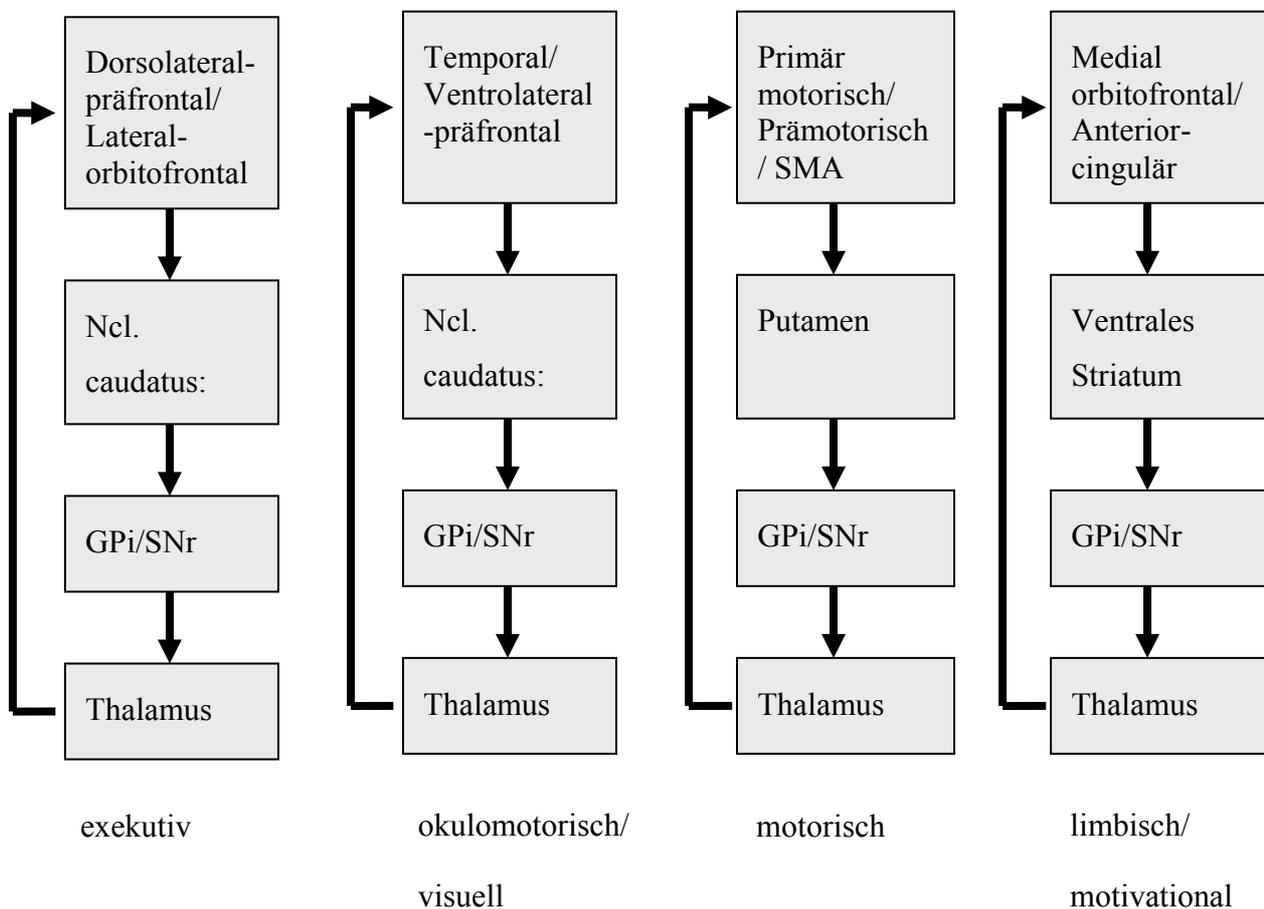


Abbildung 2. Vereinfachte Darstellung der kortikostriatalen Schleifen, modifiziert nach Seger (2006). In jeder der Schleifen ist eine Kortexregion (oberster Kasten) mit einer striatalen Region (zweiter Kasten von oben) sowie den Ausgangsstrukturen der Basalganglien (dritter Kasten von oben) und dem Thalamus (unterster Kasten) verbunden. SMA = supplementär motorisches Areal; GPi = Globus pallidus, pars interna; SNr = Substantia nigra, pars reticulata.

Zwischen Eingangs- und Ausgangsstrukturen der Basalganglien lassen sich zusätzlich zwei verschiedene Wege unterscheiden, der direkte „Go“-Weg und der indirekte „NoGo“-Weg. Der direkte Weg vom Striatum zu den Ausgangskernen der Basalganglien hemmt die ihrerseits hemmenden Ausgangsstrukturen, so dass der Thalamus disinhibiert wird („Go“). Der indirekte Weg verläuft vom Striatum über den Globus pallidus, pars externa und den Nucleus subthalamicus und gelangt erst dann zu den Ausgangskernen. Dieser Weg übt einen exzitatorischen Einfluss auf die ihrerseits hemmenden Ausgangskerne aus, so dass eine Aktivierung des indirekten Weges letztlich den Thalamus inhibiert („NoGo“). Zusätzlich wichtig in dieser Modellvorstellung, die in Abbildung 3 gezeigt ist, sind modulatorische dopaminerge Projektionen einerseits von der ventralen tegmentalen Area zum Kortex und insbesondere von der Substantia nigra, pars compacta zum Striatum. Diese dopaminergen Projektionen zum Striatum haben einen exzitatorischen Effekt auf die Ausgangsneurone des direkten Weges und einen inhibitorischen Effekt auf die Ausgangsneurone des indirekten Weges, so dass über eine Stärkung des direkten und eine Schwächung des indirekten Weges der dopaminerge Einfluss insgesamt die kortikal initiierte Aktivierung der kortiko-subkortikalen Schleifen unterstützt. Die Vorhersagen dieser Modellvorstellung stimmen gut überein mit den Symptomen von Erkrankungen mit Veränderungen der dopaminergen Regulation der striatalen Funktion, insbesondere beim Morbus Parkinson. Darauf wird später noch eingegangen. Auch anhand von Einzelzelleableitungen und der Untersuchung metabolischer Prozesse an Tiermodellen hypo- und hyperkinetischer Erkrankungen ließen sich die Vorhersagen des Modells für die motorische und die okulomotorische Schleife bestätigen und mit entsprechenden Symptomen in Verbindung bringen. Für die präfrontale und die limbische Schleife ist die Verbindung zu bestimmten Funktionen und Symptomen deutlich komplizierter. Darüber hinaus lässt sich innerhalb der limbischen Schleife eine Trennung des direkten und des indirekten Weges nicht so klar nachvollziehen wie in den anderen Schleifen.

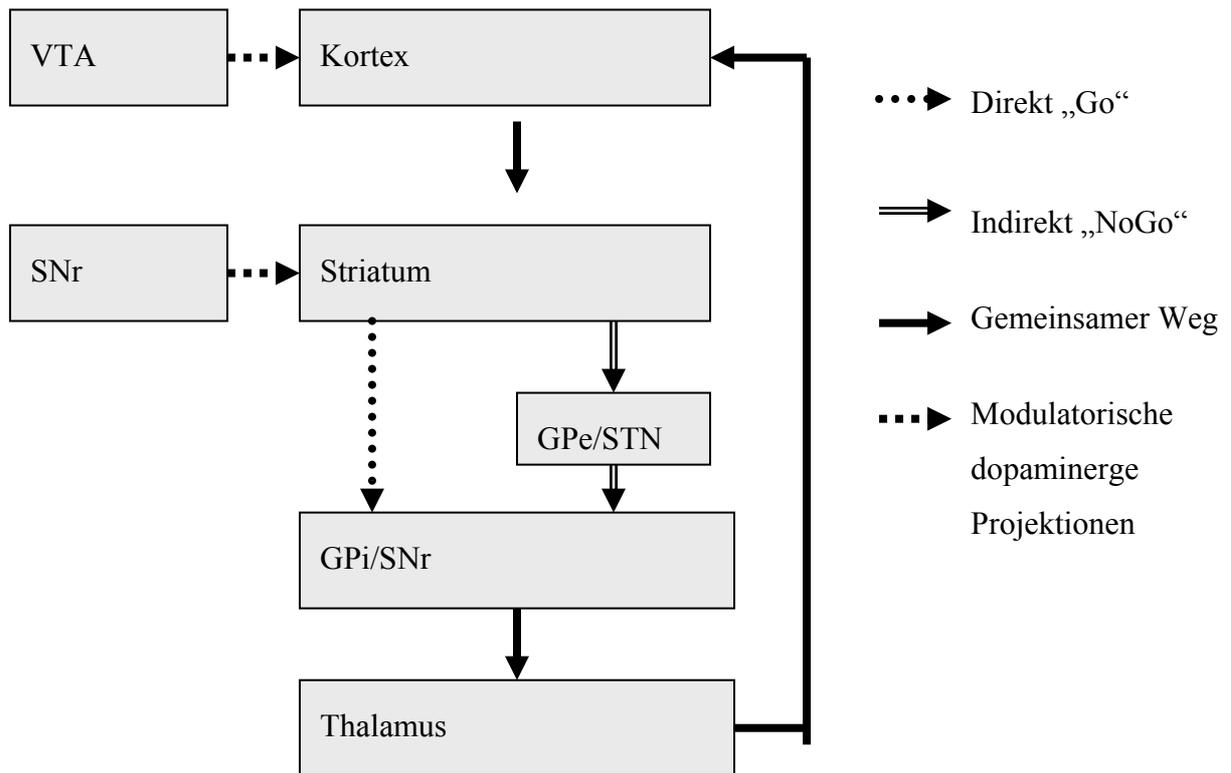


Abbildung 3. Vereinfachte schematische Darstellung der Verbindungen innerhalb jeder kortikostriatalen Schleife nach Seger (2006): direkter und indirekter Weg und modulatorische dopaminerge Projektionen. VTA = ventrales tegmentales Areal; SNr = Substantia nigra, pars compacta; GPe = Globus pallidus, pars externa; GPi = Globus pallidus, pars interna; STN = Nucleus subthalamicus.

1.2.2 Morbus Parkinson

1.2.2.1 Allgemeines/Symptome

Der Morbus Parkinson ist eine degenerative Hirnerkrankung mit einer Prävalenz von 0,16% der Bevölkerung mit zunehmender Prävalenz im höheren Lebensalter (1% bei 60-Jährigen, 3% bei 80-Jährigen), das mittlere Erkrankungsalter beträgt 55 Jahre (Hufschmidt & Lücking, 2003). Klinisch steht beim Morbus Parkinson die motorische Symptomatik mit Akinese, Ruhetremor, Rigor und Haltungsinstabilität im Vordergrund. Zusätzlich können vegetative Symptome wie orthostatische Hypotension, Obstipation, Temperaturdysregula-

tion und Seborrhoe (Überproduktion der Talgdrüsen) auftreten (Hufschmidt & Lücking, 2003). Klinisch werden 5 verschiedene Krankheitsstadien unterschieden (Hoehn & Yahr, 2001):

- einseitige Symptomatik, ohne oder mit allenfalls geringer Beeinträchtigung
- beidseitige Symptomatik, keine Haltungsinstabilität
- geringe bis mäßige Behinderung mit leichter Haltungsinstabilität, Arbeitsfähigkeit zum Teil noch erhalten
- Vollbild mit starker Behinderung, Patient kann aber noch ohne Hilfe gehen und stehen
- Patient ist an Rollstuhl oder Bett gebunden und auf Hilfe Dritter angewiesen

Bei den psychischen Symptomen der Erkrankung ist insbesondere die Depression zu nennen. Depressive Störungen treten durchschnittlich bei 40% aller Parkinsonpatienten auf und gehen den motorischen Störungen bei bis zu 30% der Patienten schon 4 bis 6 Jahre voraus (Poewe & Luginger, 1999), was gegen eine rein reaktive Entwicklung der depressiven Symptome spricht.

Auf die neuropsychologischen Symptome der Erkrankung wird weiter unten genauer eingegangen. Bei ungefähr 20% der Parkinsonpatienten sind die kognitiven Defizite so stark ausgeprägt, dass eine Demenz diagnostiziert wird, longitudinale Studien legen sogar nahe, dass eine noch größere Anzahl von Patienten im Verlauf der Erkrankung eine Demenz entwickelt (Starkstein & Merello, 2002).

1.2.2.2. Pathologie

Die Pathologie des Morbus Parkinson umfasst den Verlust und die Degeneration von dopaminergen Neuronen in einem ascendierenden Muster (Braak, Del Tredici, Bratzke, Hamm-Clement, Sandmann-Keil & Rub, 2002). Der zugrunde liegende neuropathologische Prozess ist die Entstehung von abnormen Proteinaggregaten in Form intraneuronaler Einschlusskörper in bestimmten Typen von Nervenzellen, die sich innerhalb des Zellkörpers zu Lewy-Körpern und in den Zellfortsätzen zu Lewy-Neuriten entwickeln, wobei die Ursache für diese Veränderungen (und die Tatsache, dass sie sich nur auf bestimmte Zelltypen erstreckt und andere, teilweise unmittelbar benachbarte Zellen verschont bleiben)

ungeklärt ist (Sandmann-Keil & Braak, 2005). Braak et al. (2002) beschreiben das Fortschreiten der neuronalen Degeneration in sechs Stadien. In den ersten beiden - asymptomatischen - Stadien betreffen die Schädigungen verschiedene Kerne in der Medulla oblongata (verlängertes Rückenmark) und Pons, ausgehend von den viszeromotorischen Neuronen des dorsalen Glossopharyngeus- und Vagusareals über Teile der Raphekerne, der *Formatio reticularis* und den Kernkomplex des *Locus coeruleus*. Erst in den Stadien drei und vier schreitet die Degeneration zu den dopaminergen Neuronen der *Substantia nigra, pars compacta* und den magnozellulären cholinergen Kerngebieten des basalen Vorderhirns und zum temporalen Mesokortex fort. Jetzt treten klinisch die ersten motorischen Symptome des Morbus Parkinson auf. In den letzten Stadien fünf und sechs breiten sich die pathologischen Veränderungen auf die angrenzenden Gebiete des neokortikalen Assoziationskortex und das Ammonshorn als Teil der hippocampalen Formation sowie schließlich auch auf den primären Assoziationskortex, prämotorische Areale und manchmal sogar primär motorische und sensorische Felder aus. Diese neuropathologischen Veränderungen korrelieren mit der Schwere der kognitiven Defizite gemessen anhand der *Mini-Mental State Examination*, eines sehr groben Instruments zur Diagnostik eines dementiellen Abbaus. Andererseits ließen sich auf individueller Ebene Patienten mit kognitiven Einschränkungen finden, die nur sehr gering ausgeprägte kortikale neuropathologische Veränderungen aufwiesen, und umgekehrt zeigten Patienten mit ausgeprägten kortikalen Läsionen nicht zwingend auch kognitive Einschränkungen (Braak, Rub, Jansen Steur, Del Tredici & de Vos, 2005).

Klinisch steht die Degeneration dopaminergener Neurone in der *substantia nigra pars compacta* im Vordergrund, weil sich in der Konsequenz die dopaminerge Modulation der Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleifensysteme ändert und dadurch die motorischen Symptome des Morbus Parkinson erklärbar sind. Diese veränderte Verarbeitung in den Basalganglien, insbesondere im Striatum, sind der Grund dafür, dass der Morbus Parkinson als Modell für striatale Beeinträchtigungen dient und die Bedeutung des Striatums für verschiedene kognitive - und andere - Prozesse immer wieder an Patienten mit Morbus Parkinson untersucht wurde. Der stärkste Verlust dopaminergener Neurone geschieht im ventrolateralen Part der *substantia nigra pars compacta* und spiegelt die Krankheitsdauer und damit den degenerativen Prozess beim Morbus Parkinson besser wider als der dopaminerge Verlust in anderen Bereichen, der eher sporadisch auftritt (Damier, Hirsch, Agid & Graybiel, 1999). Diese Neurodegeneration führt zu einer verminderten dopaminergen

Innervation des Putamens, eines wichtigen Teils der motorischen Basalganglien-thalamo-subkortikalen Schleife (s.o.), und in der Folge zu einer Imbalance des direkten und indirekten Weges innerhalb der Basalganglien (ebenfalls oben beschrieben). Diese Imbalance beinhaltet eine Überaktivierung des Nucleus subthalamicus (STN) und der hemmenden Ausgangskerne der Basalganglien (Globus pallidus, pars interna und substantia nigra, pars reticulata), ist also eine Imbalance zugunsten des indirekten Weges und führt somit zu einer Hemmung der exzitatorischen thalamo-kortikalen Verbindungen (Wichmann & DeLong, 2003). Durch die resultierende verminderte kortikale Stimulation lässt sich z.B. das Symptom Akinese erklären.

In geringerem Ausmaß ist auch der dorsale Anteil der substantia nigra pars compacta von der Degeneration dopaminergener Neurone betroffen. Dieser projiziert zum Nucleus caudatus und moduliert somit die präfrontale oder exekutive Basalganglien-thalamo-kortikale Schleife; zu den Auswirkungen der veränderten dopaminergen Modulation auf diese Schleife ebenso wie auf die anderen gibt es aber keine so klare Modellvorstellung wie im Fall der motorischen Schleife. Insgesamt scheint die Neurodegeneration in der Substantia nigra pars compacta nach einem bestimmten räumlichen Muster voranzuschreiten (lateral nach medial, ventral nach dorsal) (Damier et al., 1999), was dazu führt, dass sich auch die Beeinträchtigung der verschiedenen Regionen des Striatums in einer bestimmten Reihenfolge ausbreitet. Die frühesten Veränderungen betreffen das Putamen und damit die motorische Schleife, später beginnen die Veränderungen am Kopf des Nucleus caudatus (präfrontale oder exekutive Schleife) und erst danach sind auch die visuelle und die limbische/motivationale Schleife betroffen (Seger, 2006).

1.2.2.3. Kognitive Beeinträchtigungen bei Patienten mit Morbus Parkinson

Bei ca. 20% der Patienten treten im Verlauf der Erkrankung stark ausgeprägte, progredient verlaufende kognitive Störungen im Sinne einer Demenz auf (Starkstein & Merello, 2002), aber in Gruppenvergleichen zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden wurden trotz einer vollständig erhaltenen allgemeinen Intelligenz (Lees & Smith, 1983) bei den Parkinsonpatienten immer wieder leichte kognitive Beeinträchtigungen nachgewiesen, die auch schon zu Beginn der Erkrankung auftreten können. Dabei steht im Vordergrund eine Störung verschiedener exekutiver Funktionen, also solcher Leistungen, die unter der Kontrolle des frontalen Kortex stehen. Unter exekutiven Funktionen werden

solche Leistungen zusammengefasst, die ein adaptives Verhalten in neuen und komplexen Situationen ermöglichen wie z.B. die Verarbeitung von relevanten Informationen, das Generieren neuer mentaler Konzepte, Planen, Problemlösen und kognitive Flexibilität (Dubois & Pillon, 1997). In entsprechenden Aufgaben zum Arbeitsgedächtnis, Aufgabenwechsel oder zur Wortflüssigkeit sind Parkinsonpatienten gegenüber gesunden Kontrollprobanden beeinträchtigt (Cools, Barker, Sahakian & Robbins, 2001b; Dubois & Pillon, 1997; Lees & Smith, 1983; Owen, 2004). Zum Entstehen dieser kognitiven Defizite gibt es verschiedene Erklärungsansätze: Es wurde die gestörte dopaminerge Innervation des präfrontalen Kortex durch die ventrale tegmentale Area als Erklärungsmodell vorgeschlagen, da sich bei Parkinsonpatienten in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe nach der Gabe von Levodopa (einer Vorstufe des Dopamins, das nach Passieren der Blut-Hirn-Schranke zu Dopamin verstoffwechselt wird) eine Änderung im Aktivitätsmuster der durch die ventrale tegmentale Area innervierten präfrontalen Areale zeigte (Mattay, Tessitore, Callicott, Bertolino, Goldberg, Chase, Hyde & Weinberger, 2002). Andererseits ist der Einfluss von Levodopa auf kognitive Leistungen sehr gering und das Ausmaß kognitiver Störungen korreliert mit jenen motorischen Störungen, die kaum auf die Gaben von Levodopa ansprechen (z.B. Dysarthrie und Haltungsinstabilität), so dass die kognitiven Störungen beim Morbus Parkinson kaum als direkte Folge der dopaminergen Degeneration gesehen werden können (Pillon, Dubois, Bonnet, Esteguy, Guimaraes, Vigouret, Lhermitte & Agid, 1989; Pillon, Dubois, Cusimano, Bonnet, Lhermitte & Agid, 1989). Neuere Ergebnisse zeigen hingegen, dass die Gabe von Levodopa sowohl eine Verbesserung als auch eine Verschlechterung kognitiver Funktionen auslösen kann, und zwar in Abhängigkeit von der verwendeten Aufgabe und der dadurch angesprochenen Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleife. So gibt es Hinweise darauf, dass eine dopaminerge Medikation bei Parkinsonpatienten einen positiven Effekt auf solche Aufgaben hat, die mit der präfrontalen oder exekutiven Schleife in Verbindung gebracht werden (z.B. Aufgabenwechsel), weil in den beteiligten Regionen dieser Schleife, z.B. dem dorsalen Nucleus caudatus, eine Verminderung der dopaminergen Funktion schon in frühen Stadien der Erkrankung gegeben ist. Im Gegensatz dazu könnte eine dopaminerge Medikation in der motivationalen oder limbischen Schleife zu einer „Überdosierung“ mit Dopamin führen, weil der ventrale Nucleus caudatus und der Nucleus accumbens und damit auch ihre Verbindungen zum orbitofrontalen Kortex weniger durch die dopaminerge Degeneration betroffen sind. In Übereinstimmung damit fanden sich bei Parkinsonpatienten unter dopaminenger Medikation ver-

minderte Leistungen in solchen Aufgaben, die mit der limbischen Schleife in Verbindung gebracht werden, z.B. in einer Aufgabe zum probabilistischen Umkehrungslernen (probabilistic reversal learning) (Cools, Barker, Sahakian & Robbins, 2001a; Swainson, Rogers, Sahakian, Summers, Polkey & Robbins, 2000).

Weiterhin zeigte sich ein Defizit von Parkinsonpatienten in visuospatialen Aufgaben (Ebersbach, Trottenberg, Hattig, Schelosky, Schrag & Poewe, 1996; Villardita, Smirni & Zappala, 1983), jedoch geht nur ein kleiner Teil der Autoren davon aus, dass dies auf ein genuines visuospatiales Defizit zurückzuführen sei. Vielmehr sind Parkinsonpatienten - mit der Ausnahme von Schwierigkeiten bei der Abschätzung von Linienorientierungen - in solchen visuospatialen Aufgaben beeinträchtigt, die eine komplexere Handlungsplanung, Handlungsüberwachung oder einen Aufgabenwechsel erfordern (Dubois & Pillon, 1997), so dass sich die beobachteten Defizite eher auf die beeinträchtigten exekutiven Funktionen als auf ein visuospatiales Defizit zurückführen lassen. Ähnlich ist die Situation im Bereich des Gedächtnisses, Beeinträchtigungen zeigen sich insbesondere in solchen Aufgaben, bei denen Aufmerksamkeit kontrolliert eingesetzt werden muss, um effiziente Strategien zur Speicherung und zum Abruf im Sinne einer Organisation oder zeitlichen Reihung des Materials zu generieren, während die eigentlichen Gedächtnisprozesse der Einspeicherung und Konsolidierung des Materials unbeeinträchtigt scheinen (Daum, Schugens, Spieker, Poser, Schonle & Birbaumer, 1995; Dubois & Pillon, 1997). Weiterhin wurden bei Parkinsonpatienten Beeinträchtigungen verschiedener prozeduraler oder impliziter Lernaufgaben gefunden. Da viele der für diese Arbeit wichtigen Befunde aus der Tradition der prozeduralen oder impliziten Lernaufgaben stammen, soll auf diesen Bereich im folgenden Abschnitt genauer eingegangen werden. Dazu sollen zunächst theoretische Modellvorstellungen zu dieser Art des Lernens vorgestellt werden, bevor auf verschiedene Lernparadigmen und empirische Befunde eingegangen wird.

1.3 Implizites versus explizites Lernen

1.3.1 Allgemeine theoretische Überlegungen

Squire und Zola (1996) schlagen eine einflussreiche Taxonomie von Lernsystemen vor, die das Langzeitgedächtnis in zwei grundlegende Systeme, das deklarative (explizite) und das nondeklarative (implizite) Gedächtnis unterteilt. Unter deklarativem Lernen wird dabei die bewusste Erinnerung an Fakten und Ereignisse verstanden, unter nondeklarativem Lernen werden verschiedene Formen des unbewussten Lernens zusammengefasst, bei denen das Gelernte sich durch Verhaltensänderung bzw. Leistungssteigerung in entsprechenden Tests ausdrückt und die keinen Rückgriff auf bewusste Gedächtnisinhalte voraussetzen. Schacter, Chiu und Ochsner (1993) beschreiben das implizite Lernen folgendermaßen: „Implicit memory...entails a facilitation or change in test performance that is attributable to information or skills acquired during a prior study episode, even though subjects are not required to, and may even be unable to recollect the study episode”.

Das deklarative Gedächtnis lässt sich einteilen in ein Gedächtnis für Fakten und eins für Ereignisse, als dazugehörige neuroanatomische Struktur werden der mediale Temporallappen und das Zwischenhirn genannt. Das nondeklarative Gedächtnis lässt sich in folgende Einheiten unterteilen:

1. Das nichtassoziative Lernen, das über die Reflexbahnen gesteuert wird.
2. Das einfache klassische Konditionieren, einerseits das klassische Konditionieren emotionaler Reaktionen in der Amygdala (Mandelkern), andererseits das klassische Konditionieren von Bewegungen der Skelettmuskulatur, das über das Cerebellum (Kleinhirn) gesteuert wird.
3. Das Phänomen des „priming“, bei dem ein Wort oder ein Objekt aus abgestuften Hinweisreizen schneller erkannt wird als andere, wenn die Versuchsteilnehmer vorher schon dem Wort oder Objekt unterhalb der Wahrnehmungsschwelle ausgesetzt waren (Schacter et al., 1993). Dieses System wird von Squire und Zola (1996) dem Neokortex zugeordnet.

4. Das prozedurale Lernen oder auch Lernen von Fertigkeiten und Gewohnheiten („skills and habits“), das seine anatomische Grundlage im Striatum hat.

Seger (1994) stellt zur Definition des impliziten Lernens drei Kriterien und eine zusätzliche Richtlinie auf:

- Das erste Kriterium fordert, dass das Wissen, das beim impliziten Lernen erworben wird, in seinem ganzen Umfang dem Bewusstsein nicht zugänglich sein darf, und zwar insofern, dass Probanden keine vollständige (wenn überhaupt eine) verbale Beschreibung des Gelernten geben können.
- Das zweite Kriterium bezieht sich auf das Lernmaterial: Es werden komplexe Informationen gelernt und nicht einfache Assoziationen oder Häufigkeiten.
- Das dritte Kriterium legt fest, wie das Material gelernt wird: nicht über bewusstes Hypothesentesten, sondern als die eher beiläufige, zufällige („inzidentelle“) Konsequenz der kognitiven Prozesse, die durch die Stimuli angestoßen werden.

Die zusätzliche Richtlinie (die laut Seger durch einige wenige Ausnahmen des impliziten Lernens verletzt wird) besagt, dass implizites Lernen auch bei Amnestikern möglich ist. Bei diesen Patienten ist das explizite hippocampale Gedächtnissystem gestört, sie können kein neues bewusstes episodisches oder Faktenwissen mehr aufbauen. Laut Squire und Zola (1996) ist die Tatsache, dass Amnestiker mit einer bilateralen Schädigung des medialen Temporallappens oder der mittigen Zwischenhirnstrukturen, die in Tests zum Erinnern oder Wiedererkennen verschiedenen Materials - Orte, Objekte, Worte, Gesichter, Melodien - versagen, in anderen - impliziten - Lerntests genauso abschneiden wie gesunde Kontrollprobanden, einer der besten Hinweise auf unterscheidbare Gedächtnissysteme. Dienes und Berry (1997) schlagen drei verschiedene mögliche Kriterien für implizites Lernen vor, die stärker auf die konkrete Operationalisierung impliziten Lernens zielen und sich im Unterschied zu den Kriterien von Seger (1994) ausschließen: Lernen könne implizit sein in dem Sinne, dass ein freier verbaler Abruf des Gelernten schwierig sei, oder man könne es an einer objektiven oder an einer subjektiven Schwelle messen. Wissen befinde sich unterhalb der objektiven Schwelle, wenn Probanden in einem direkten Test des Wissens mit entsprechenden Hinweisreizen („cued report test“) nur eine Zufallsleistung zeigten. Im Gegensatz dazu könne man Wissen als unterhalb der subjektiven Schwelle liegend ansehen, wenn kein Metawissen über das Wissen vorhanden sei, d.h. Probanden nicht wis-

sen, dass sie etwas wissen. In ihrem Artikel beleuchten die Autoren einige empirische Ergebnisse zum impliziten Lernen im Hinblick auf diese drei unterschiedlichen Konzeptualisierungen des impliziten Lernens und kommen im Abschluss zu keiner klaren Entscheidung für eine der drei Möglichkeiten, halten aber das Konzept der subjektiven Schwelle für sehr geeignet, um weitere Forschung anzuregen. Zusätzlich nennen sie drei Merkmale des impliziten Lernens:

- geringen Transfer des impliziten Wissens auf ähnliche oder verwandte Aufgaben
- implizites Lernen tritt eher auf, wenn die Aufmerksamkeit auf die einzelnen Items gelegt wird und nicht auf zugrunde liegende Regeln, wenn also kein Hypothesentesten stattfindet
- implizites Lernen ist robuster als explizites

Die Unterscheidung von implizitem und explizitem Lernen hat sich trotz der Unschärfe in der genauen Definition des Begriffes „implizit“ und den damit zusammenhängenden Schwierigkeiten bei der Operationalisierung des impliziten Lernens mittlerweile in der Literatur gut etabliert, auch wenn einige Autoren diese Dissoziation bezweifeln und Befunde zum impliziten Lernen für ein Artefakt halten (z.B. Haider, 1992). Durch das Konzept der unterschiedlichen Systeme wurde die Entwicklung einer Vielzahl von Lernparadigmen und experimentellen Manipulationen angeregt, um die Dissoziation dieser Systeme zu bestätigen und die Systemeigenschaften zu beschreiben und neurobiologisch zu verankern. So beschreibt McClelland (1998) eine konnektionistische Modellvorstellung zur Unterscheidung expliziten und impliziten Lernens. Diesem Ansatz zufolge ist das implizite Lernen die Folge von geringen synaptischen Veränderungen innerhalb des neuronalen Netzwerkes, das von vornherein an der Verarbeitung der Stimuli, die gelernt werden, beteiligt ist. Diese geringen synaptischen Veränderungen erleichtern („facilitate“) die Verarbeitung der Stimuli, wenn diese später erneut präsentiert werden. Da es sich um sehr geringe synaptische Veränderungen handelt, resultiert ein sehr langsames, graduelles Lernen, das unzureichend ist, um als Basis für schnelle assoziative Verknüpfungen zwischen z.B. zufällig gepaarten Begriffen zu dienen. Schnelles Lernen einer Verknüpfung zwischen Objekten, zwischen denen vorher keine Verbindung bestand, ist laut McClelland ein Beispiel für explizites Lernen, bei dem ein vorhandenes Aktivitätsmuster im Neokortex eine entsprechende Repräsentation in der hippocampalen Region zur Folge hat, wo die neue Verknüpfung gespeichert wird.

Über diese allgemeinen Überlegungen zur Dissoziation von implizitem und explizitem Lernen hinausgehend ist es jedoch wichtig, sich vor Augen zu halten, dass es nicht EIN implizites System gibt, sondern verschiedene Lernarten, von denen angenommen wird, dass sie in unterschiedlichen neurobiologischen Systemen verankert sind (siehe die Übersicht von Squire und Zola, 1996), und deren wichtigste Gemeinsamkeit ist, dass sie sich vom deklarativen Lernen unterscheiden.

In den weiteren Abschnitten soll auf diejenigen Lernarten genauer eingegangen werden, die traditionell mit dem kortikostriatalen System (d.h. den reziproken Verbindungen zwischen dem Neokortex und den Basalganglien über den Thalamus) in Verbindung gebracht werden (siehe die Taxonomie von Squire und Zola, 1996). Dabei geht es zunächst um das Fertigkeitenlernen, bevor in einem späteren Abschnitt dann auf das Lernen von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (habit learning) eingegangen wird.

1.3.2 Fertigkeitenlernen (skill learning)

Salmon und Butters (1995) nennen in einem Übersichtsartikel zur Neurobiologie des Lernens von Fertigkeiten und Gewohnheiten das kortikostriatale System als neurobiologische Basis für den Erwerb von motorischen, perzeptuellen und kognitiven Fertigkeiten.

Um das Fertigkeitenlernen zu untersuchen, wurde eine Vielzahl von Paradigmen entwickelt, die dann, um jeweils den impliziten Charakter der Aufgabe zu bestätigen, an amnestischen Patienten und weiterhin, um die Beteiligung des Striatums zu klären, an Patienten mit striatalen Dysfunktionen, insbesondere Parkinsonpatienten, getestet wurden. Es liegen Befunde zu unterschiedlichen Bereichen des Fertigkeitenlernens vor, angefangen bei motorischen Fertigkeiten, z.B. dem Spiegelzeichnen oder dem serial reaction time task (Nissen & Bullemer, 1987; Willingham, Nissen & Bullemer, 1989), auch als verbale Aufgabe (Hartman, Knopman & Nissen, 1989). Bei dieser Aufgabe wird eine bestimmte Abfolge von Fingerbewegungen gelernt, wobei sich die Versuchspersonen dieser festgelegten Reihenfolge in der Regel nicht bewusst sind. Der serial reaction time task wird von amnestischen Patienten in gleichem Maße gelernt wie von gesunden Kontrollprobanden (Reber & Squire, 1994). Salmon und Butters (1995) schlagen vor, dass die Rolle der Basalganglien beim Erwerb motorischer Fertigkeiten mit der Ablaufsteuerung und Sequenzierung der motorischen Handlungen („motorisches Programm“) zusammenhängt, da Patienten mit Morbus Huntington und Patienten mit Morbus Parkinson beeinträchtigte Leistungen in

dieser Aufgabe zeigten (Jackson, Jackson, Harrison, Henderson & Kennard, 1995; Pascual-Leone, Grafman, Clark, Stewart, Massaquoi, Lou & Hallett, 1993), auch wenn die motorischen Anforderungen der Aufgabe minimiert wurden (Smith & McDowall, 2006). Hier sind die Befunde jedoch widersprüchlich, einige Autoren fanden auch unbeeinträchtigte Leistungen von Parkinsonpatienten im serial reaction time task (Smith, Siegert, McDowall & Abernethy, 2001).

Beispiele für perzeptuelle Fertigkeiten, die auch amnestische Patienten erwerben, sind z.B. das Spiegellesen oder das schnellere Lesen von normalem Text oder sich wiederholenden Phantasie-Wörtern (Squire, Knowlton & Musen, 1993). Was die Leistung von Parkinsonpatienten in solchen Aufgaben angeht, gibt es widersprüchliche Befunde: Einige Untersuchungen fanden eine Beeinträchtigung (Koenig, Thomas-Anterion & Laurent, 1999; Sarazin, Deweer, Merkl, Von Poser, Pillon & Dubois, 2002), andere nicht (Daum et al., 1995; Harrington, Haaland, Yeo & Marder, 1990). Im Rahmen des kognitiven Fertigkeitenlernens wurde die Kontrolle komplexer Systeme untersucht (Berry & Broadbent, 1984), hierbei zeigten sowohl amnestische Patienten (Squire & Frambach, 1990) als auch Parkinsonpatienten (Witt, Daniels, Daniel, Schmitt-Eliassen, Volkmann & Deuschl, 2006) gleich gute Leistungen wie gesunde Kontrollprobanden. Zusammenfassend scheint sich im Bereich des Fertigkeitenlernens nur der Befund von einer Beeinträchtigung von Parkinsonpatienten im serial reaction time task zu bestätigen. Möglicherweise ist also weniger von einer allgemeinen Bedeutung des Striatums für das Fertigkeitenlernen auszugehen, sondern es spielt eine Rolle für das Lernen von Sequenzen (Seger, 2006).

1.4 Verschiedene Lernsysteme beim Kategorienlernen

1.4.1 Theoretische Überlegungen

Eine Art des Lernens, die immer wieder mit dem kortikostriatalen System in Verbindung gebracht wurde, ist das Kategorienlernen, das eine grundlegende und sehr wichtige Fähigkeit des Menschen darstellt. Wir sind täglich mit einer Fülle von Informationen und Dingen konfrontiert, und ohne eine Ordnung und Unterteilung in verschiedene Kategorien käme es rasch zu einer massiven Überforderung.

Die Arbeitsgruppe um F. Gregory Ashby und seine Kollegen hat sich intensiv mit dem Kategorienlernen beschäftigt und eine neuropsychologische Theorie multipler Systeme beim Kategorienlernen erarbeitet und durch verschiedene empirische Ergebnisse untermauert (Ashby, Alfonso-Reese, Turken & Waldron, 1998; Ashby & Maddox, 2005). Diese Theorie ist im Rahmen der sogenannten „boundary models“ des Kategorienlernens zu sehen (Keri, 2003). Diese theoretischen Modelle sind im Kontrast zu anderen Vorstellungen wie zum Beispiel den „exemplar models“ oder den „prototype models“ zu sehen. Sie gehen davon aus, dass sich der „repräsentationale Raum“ (representational space), der durch die unterschiedlichen Dimensionen, auf denen die verwendeten Stimuli variieren, gebildet wird, in unterschiedliche Antwortregionen unterteilen lässt. Diesen Regionen werden dann die verschiedenen kategorisenspezifischen Antworten zugewiesen.

Ashby et al. (1998) unterscheiden beim Kategorienlernen ein verbales System, bei dem unter bewusster Kontrolle Prozesse des expliziten Generierens und Überprüfens von Hypothesen stattfindet, und ein nonverbales, implizites System, das prozedural lernt. Dabei besteht der fundamentale Unterschied zwischen beiden Systemen in dem Ausmaß, in dem die zugrunde liegende Entscheidungsregel, die zwei Kategorien in einer Kategorisierungsaufgabe voneinander unterscheidet, verbalisierbar ist. Das von den Autoren vorgeschlagene implizite System ist nicht in dem Sinne implizit, dass ein unabsichtliches „Nebenbei-Lernen“ geschieht oder dass die Probanden sich der Tatsache, dass sie etwas gelernt haben, nicht bewusst sind, da, ähnlich wie beim probabilistischen Klassifikationslernen, die Probanden explizit zum Lernen aufgefordert werden und Rückmeldung über ihren Lernerfolg bekommen, so dass sie auch wissen, ob ein Lernen stattgefunden hat (Ashby & Casale,

2002). Das von den Autoren beschriebene implizite Lernen erfüllt also nicht das dritte der Seger'schen Kriterien zum impliziten Lernen und liegt oberhalb der subjektiven Schwelle im Sinne von Dienes und Berry (1997). Die Beschreibung des Lernsystems als implizit stützt sich ausschließlich auf die Tatsache, dass das erworbene Wissen dem Bewusstsein nicht zugänglich ist (erstes Kriterium nach Seger), d.h. die Probanden nicht verbal beschreiben können, wie sie die Zuordnung der Reize zu den Kategorien vorgenommen haben. Um dies klarer zu machen, sollen im Folgenden die perzeptuellen Kategorisierungsaufgaben genauer beschrieben werden, mit denen die Arbeitsgruppe das implizite bzw. das explizite Lernen operationalisiert (Ashby & Gott, 1988). Dafür werden als Stimuli geometrische Figuren verwendet, die auf zwei Dimensionen variieren, z.B. Rechtecke mit unterschiedlicher Höhe und Weite, Linien mit unterschiedlicher Länge und Orientierung, Kreise mit unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Orientierung einer sich darin befindenden Linie usw., die von den Probanden dann in zwei Kategorien einsortiert werden sollen. Nach jeder Entscheidung bekommen die Probanden eine Rückmeldung darüber, ob ihre Zuordnung korrekt war oder nicht. Vorher werden die entsprechenden Kategorien festgelegt, indem zwei spezifische bivariate Normalverteilungen spezifiziert werden (d.h. die Verteilungsparameter Erwartungswert und Standardabweichung werden festgelegt), aus denen jeweils die Wertepaare, die die Stimuli beschreiben, zufällig gezogen werden. Man kann sich die Stimuli, da sie zweidimensional sind, als Punkte in einem zweidimensionalen Raum vorstellen. In Abbildung 4 ist beispielhaft die Stimulusstruktur zweier Kategorisierungsaufgaben dargestellt.

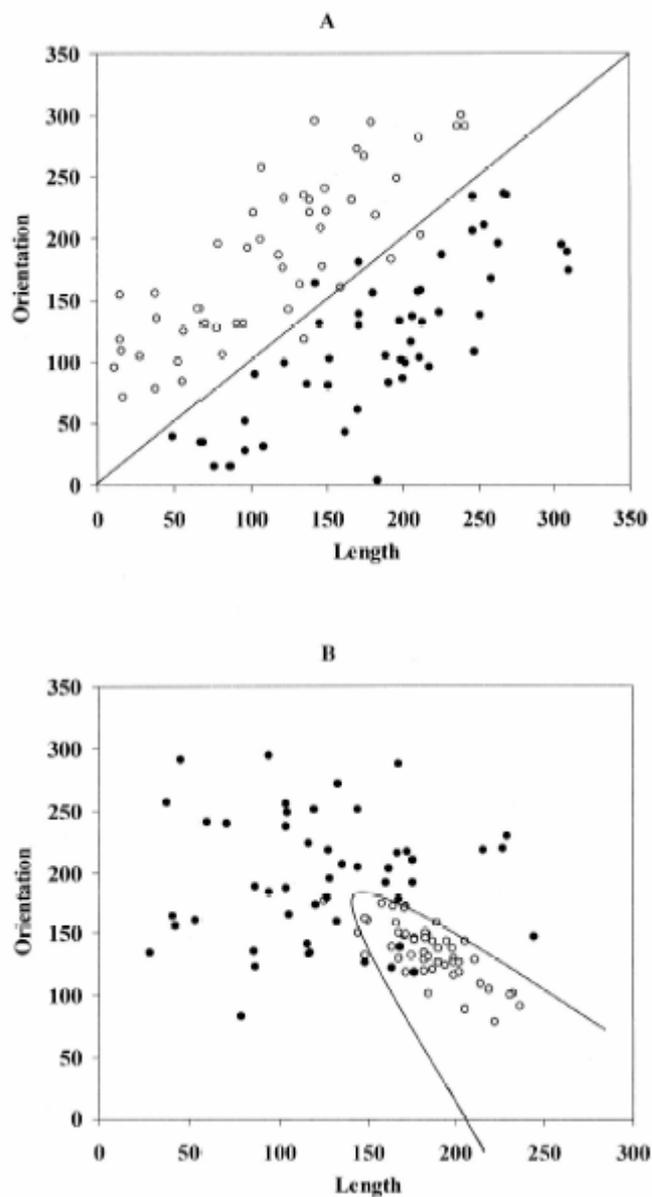


Abbildung 4. Stimulusstruktur zweier Kategorisierungsaufgaben von Filoteo, Maddox, Salmon und Song (2005). Die Stimuli bestehen aus Linien verschiedener Länge und Orientierung, auf der x-Achse ist die Länge, auf der y-Achse die Orientierung abgetragen. Jeder Punkt stellt einen Stimulus dar, die ausgefüllten Punkte stehen für Kategorie A, die nicht ausgefüllten für Kategorie B. Abbildung A zeigt ein Experiment mit einer linearen Entscheidungsregel, Abbildung B mit einer nicht-linearen.

Auf der x-Achse ist dabei die eine Dimension, auf der die Stimuli variieren (z.B. Länge einer Linie), abgetragen, auf der y-Achse die andere Dimension (z.B. Orientierung der Linie). Jeder Stimulus kann nun durch einen Punkt im Koordinatensystem dargestellt werden, und die Stimuli der beiden unterschiedlichen Kategorien werden dabei durch unterschiedliche Symbole gekennzeichnet (z.B. ausgefüllte Punkte für Kategorie A, nicht ausgefüllte Punkte für Kategorie B). Weil die Stimuli der beiden Kategorien normalverteilt sind, lässt sich eine optimale Entscheidungsregel festlegen (d.h. wenn diese Regel angewendet wird, ist die Anzahl der richtigen Entscheidungen über den Zeitverlauf maximal), deren Form davon abhängt, wie die Verteilungen der beiden Kategorien zusammenhängen. Häu-

fig überlappen sich dabei die Kategorien, so dass eine korrekte Zuordnung aller Stimuli auch bei Anwendung der optimalen Entscheidungsregel nicht möglich ist. Auf der Basis dieses Vorgehens sind nun viele Variationen der Kategorisierungsaufgabe möglich, die wichtigsten sind dabei die Anwendung einfacher, linearer Entscheidungsregeln vs. komplexerer, nonlinearer Regeln (siehe Abbildung 4) sowie die Veränderung der Dimensionen, auf denen die Stimuli variieren. Die oben beschriebene Unterscheidung der Aufgaben dahingehend, ob sie das implizite oder das explizite Lernsystem ansprechen, bezieht sich vorwiegend auf den zweiten Punkt, die Dimensionen, auf denen die Stimuli variieren, bzw. die Art, in der sich die - vorher festgelegte - optimale Entscheidungsregel auf diese Dimensionen bezieht. Explizites, regelbasiertes Lernen findet dann statt, wenn die optimale Entscheidungsregel in hohem Maße salient und verbalisierbar ist, z.B. wenn sie sich auf nur eine der beiden Dimensionen bezieht (z.B. „die langen Striche gehören zu Kategorie A, die kurzen zu Kategorie B“). Implizites oder auch „informationen-integrierendes Lernen“ (information-integration tasks) ist hingegen dadurch gekennzeichnet, dass die Entscheidungsregel nicht salient und verbalisierbar ist und eine optimale Leistung nur erreicht werden kann, wenn eine Integration der Informationen der beiden Stimulusdimensionen vor der Entscheidung („at a predecisional state“) stattfindet. Oft besteht eine implizite „information-integration“-Kategorienstruktur dann, wenn die beiden verwendeten Stimulusdimensionen nicht miteinander vergleichbar sind, weil sie in verschiedenen physikalischen Einheiten ausgedrückt werden, z.B. Orientierung und Länge einer Linie. Eine Regel wie „Wenn die Länge der Linie größer ist als ihre Neigung, ist es Kategorie A, wenn die Neigung größer ist als die Länge, ist es B“ lässt sich zwar formal formulieren, ergibt aber inhaltlich keinen Sinn und kann deswegen von Probanden nicht explizit erschlossen werden. Eine Regel wie „Sage A, wenn das Rechteck höher als breit ist, und B, wenn es breiter als hoch ist“ beschreibt jedoch ein explizites, regelbasiertes Lernen, da zunächst separate Entscheidungen über die einzelnen Dimensionen getroffen und die Ergebnisse dieser Entscheidungen kombiniert werden (d.h. die Integration der Dimensionen ist nicht „predecisional“).

Bei einer anderen Gruppe von Kategorisierungsaufgaben (beschrieben z.B. bei Ashby und Ell (2001)) wird eine geringere Anzahl an Stimuli verwendet. Die Stimuli bestehen aus geometrischen Figuren in verschiedenen Farben, die auf ebenfalls verschiedenfarbigen Hintergründen präsentiert werden (siehe Abbildung 5): Die Stimuli variieren auf vier verschiedenen Dimensionen mit jeweils zwei Ausprägungen: Hintergrundfarbe (z.B. blau und

gelb), Farbe der Symbole (z.B. rot oder grün), Anzahl der gezeigten Symbole (1 oder 2) und Art der Symbole (Rechteck oder Kreis). Diese Stimuli sollen wiederum jeweils in eine von zwei Kategorien sortiert werden, und die Probanden bekommen eine Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Zuordnung. Mit diesen Stimuli lassen sich ebenfalls regelbasierte Lernaufgaben (Abbildung 5, links) und prozedurale, „information-integration“-Aufgaben (Abbildung 5, rechts) konstruieren. Bei einer regelbasierten Aufgabe wird eine der Dimensionen zufällig als relevant ausgewählt, und die korrekte Entscheidungsregel lautet z.B.: „Wähle Kategorie A, wenn zwei Symbole zu sehen sind, und Kategorie B, wenn nur ein Symbol gezeigt wird“. Die Art des Stimulusmaterials und die verwendete Entscheidungsregel erinnern dabei sehr an den in der Neuropsychologie weit verbreiteten Wisconsin Card Sorting Test (WCST) (Monchi, Petrides, Petre, Worsley & Dagher, 2001).

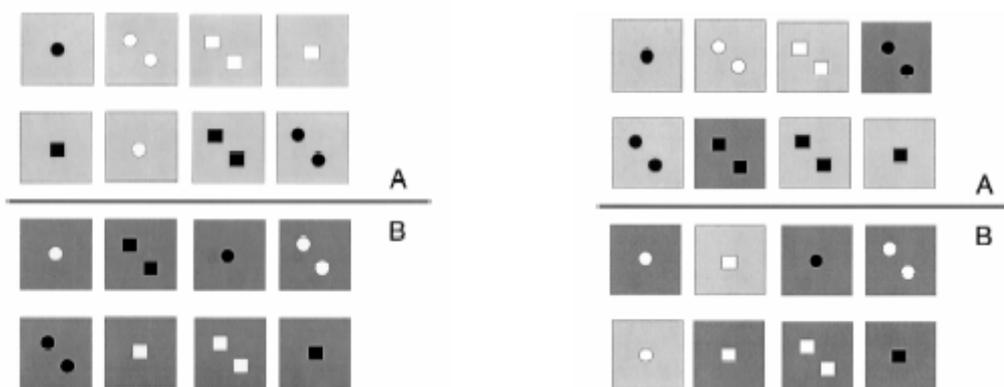


Abbildung 5. Zwei Aufgaben zum Kategorielernen aus der Arbeit von Ashby, Noble, Filoteo, Waldron und Ell (2003). Links eine regelbasierte Aufgabe („Wähle Kategorie A bei heller Hintergrundfarbe und Kategorie B bei dunkler Hintergrundfarbe“). Rechts eine prozedurale Aufgabe. Die Art des gezeigten Symbols ist irrelevant, ein heller Hintergrund, ein dunkles Symbol und eine Anzahl von zwei Symbolen haben jeweils den Wert 1. Die Regel zur Kategorienzugehörigkeit lautet: Der Stimulus gehört zu Kategorie A, wenn die Summe der Werte der relevanten Kategorien größer als 1,5 ist, ansonsten gehört der Stimulus zu Kategorie B.

Mit demselben Stimulusmaterial lässt sich eine prozedurale Lernaufgabe konstruieren, wenn man die verwendete Entscheidungsregel verändert: Eine Stimulusdimension wird als irrelevant festgelegt, auf den anderen Dimensionen wird zufällig jeweils einer der beiden Ausprägungen ein Wert von eins und der anderen Ausprägung ein Wert von null zugewiesen, z.B.: Die Hintergrundfarbe ist irrelevant, auf der Dimension Form bekommen Kreise einen Wert von Eins und Rechtecke einen Wert von Null, auf der Dimension Farbe bekommen rote Symbole eine Eins und grüne eine Null und auf der Dimension Anzahl bekommen zwei Symbole den Wert eins und ein Symbol den Wert null. Die Entscheidungsregel lautet nun: „Sage A, wenn die Summe der Werte eines Stimulus auf den relevanten Dimensionen größer als 1,5 ist, und andernfalls sage B“. Auch hier handelt es sich um eine komplexe Entscheidungsregel, die Versuchspersonen nicht verbalisieren können, obwohl ein Lernen der Aufgabe bis hin zu einer perfekten Zuordnung der Stimuli möglich ist. Ashby und seine Kollegen formulieren nun die Annahme, dass sich das Lernverhalten in expliziten, verbalen Aufgaben und impliziten, nicht verbalisierbaren Aufgaben qualitativ unterscheidet und somit von unterschiedlichen Lernsystemen gesprochen werden kann, und schlagen eine formale neuropsychologische Theorie mit der Abkürzung COVIS (competition between verbal and implicit systems) vor, die beinhaltet, dass beide Systeme miteinander konkurrieren (Ashby et al., 1998; Ashby & Valentin, 2005). Die Theorie geht davon aus, dass das explizite, verbale System bei Beginn der Aufgabenbearbeitung dominiert, da es vom Bewusstsein gesteuert wird. Für diese Annahme sprechen die Ergebnisse von Ashby, Queller und Berretty (1999), dass Probanden in „nicht überwachten“ Kategorisierungsaufgaben, d.h. in solchen, in denen sie nach ihrer Entscheidung keine Rückmeldung bekommen, immer unidimensionale, d.h. einfach zu verbalisierende Regeln verwenden. Die Theorie geht weiter davon aus, dass in den meisten Fällen beim Lernen von Kategorien im Verlauf beide Systeme aktiv sind.

Die beiden unterschiedlichen Systeme werden von den Autoren genauer charakterisiert: Das regel-basierte System nutzt einen Mechanismus des Hypothesen-Testens und ist in starkem Maße vom Arbeitsgedächtnis und der exekutiven Kontrolle abhängig. Dabei wird eine mögliche Regel ausgewählt und im Arbeitsgedächtnis gespeichert, während sie überprüft wird. Stellt sie sich als nicht valide heraus, muss eine neue Regel ausgewählt und die Aufmerksamkeit von der alten auf die neue Regel umgelenkt („geswitcht“) werden. Die wichtigsten Strukturen des zugrunde liegenden Netzwerkes sind der präfrontale Kortex, das anteriore Cingulum und der Kopf des Nucleus caudatus sowie der mediale Tempo-

rallappen (Ashby & Valentin, 2005). Dies stimmt im Kern überein mit den Strukturen der weiter oben beschriebenen exekutiven kortiko-subkortikalen Schleife und stellt gleichzeitig eine Erweiterung dar. Zusätzlich gibt es Hinweise darauf, dass das Putamen bei dieser Art des Lernens beteiligt ist, denn Patienten mit einer fokalen Läsion des Putamens (als Folge eines Schlaganfalls) waren gegenüber gesunden Kontrollprobanden in einer regel-basierten Aufgabe beeinträchtigt, während sich keine Beeinträchtigung in einer vergleichbaren prozeduralen Aufgabe zeigte (Ell, Marchant & Ivry, 2006).

Als zentrale Struktur des prozeduralen oder impliziten Lernsystems innerhalb der COVIS-Theorie nennen die Autoren den Nucleus caudatus. Durch einen prozeduralen Lernprozess assoziieren einzelne Einheiten innerhalb des Schwanzes (tail) des Nucleus caudatus eine Gruppe von Zellen des visuellen Kortex‘ (die in den Nucleus caudatus projizieren) mit einem motorischen Programm (Der Nucleus caudatus projiziert über den Globus pallidus und den Thalamus in prämotorische kortikale Regionen), so dass letztlich ein visueller Reiz mit einer motorischen Reaktion verknüpft wird. Zusätzlich geht die Theorie davon aus, dass das prozedurale Lernen im Nucleus caudatus von dopaminergen Projektionen aus der Substantia nigra (pars compacta) modifiziert wird, die ein Belohnungssignal transportieren, so dass dem Feedback eine besondere Bedeutung beim impliziten Lernen zukommt. Ashby und Casale (2002) beschreiben ein spezifisches neurobiologisches Modell dieser Verstärkung des Lernens durch ein dopaminerges Belohnungssignal. Danach bilden sowohl glutamaterge Projektionen aus dem visuellen Kortex als auch dopaminerge Projektionen aus der substantia nigra Synapsen auf den Dornen der Dendriten im Nucleus caudatus. Liegen nun das zuerst eintreffende glutamaterge kortikale und das dopaminerge Signal zeitlich dicht genug beieinander, führt das dopaminerge Signal zu einer Stärkung der Synapse, die zuvor aktiv war. Aus diesen Überlegungen lässt sich ableiten, dass das implizite Lernsystem nur mit einem Feedback-Signal funktioniert, es also eine Beeinträchtigung geben sollte, wenn z.B. die Kategorie vor dem Stimulus oder zusammen mit dem Stimulus gezeigt wird oder der zeitliche Abstand zwischen Reaktion und Feedback zu groß ist.

1.4.2 Bildgebende Studien zu regelbasiertem und prozeduralem Kategorienlernen

In einer fMRT-Studie konnte die im eben vorgestellten Modell beschriebene Beteiligung des medialen Temporallappens am regelbasierten Kategorienlernen und die ebenfalls beschriebene Beteiligung des Körpers des Nucleus caudatus beim prozeduralen Lernen bestätigt werden: Eine erfolgreiche Kategorisierung beim regelbasierten Lernen war mit einer Erhöhung der Aktivität im medialen Temporallappen verknüpft; eine erfolgreiche Kategorisierung beim prozeduralen Lernen ging mit einer Aktivitätserhöhung im Körper des Nucleus caudatus einher (jeweils verglichen mit den Durchgängen mit falscher Kategorisierung) (Nomura, Maddox, Filoteo, Ing, Gitelman, Parrish, Mesulam & Reber, 2007). In dieser Untersuchung fanden sich außerdem Hinweise darauf, dass beide Lernarten bei beiden Aufgabentypen eine Rolle spielen, denn es zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der übergreifenden Aktivität bei beiden Lernaufgaben. Dies spricht nicht unbedingt gegen die Existenz separater Lernsysteme, aber es scheint schwierig zu sein, Aufgaben zu konstruieren, die selektiv nur eins dieser Systeme ansprechen.

In einer anderen fMRT-Studie ließ sich die Rolle des fronto-striatalen Netzwerkes für das regelbasierte Lernen bestätigen. Bei Probanden, die eine explizite Kategorisierungsaufgabe erfolgreich lernten, waren der dorsolaterale präfrontale und der posteriore parietale Kortex im Vergleich zu einer Kontrollaufgabe aktiviert, während diese Differenz bei den Probanden, die die Aufgabe nicht lernten, nicht auftrat. Zusätzlich zeigte sich bei den Lernern eine verstärkte Aktivität im Kopf des Nucleus caudatus bei erfolgreichen Durchgängen im Vergleich zu nicht erfolgreichen Durchgängen (Filoteo, Maddox, Simmons, Ing, Cagigas, Matthews & Paulus, 2005c).

1.4.3 Empirische Befunde zu separaten Lernsystemen beim Kategorienlernen

In einer Reihe von empirischen Untersuchungen wurden aus COVIS abgeleitete Vorhersagen überprüft, und es fanden sich Hinweise auf voneinander zu trennende Lernsysteme. So ließen Waldron und Ashby (2001) das oben beschriebene Stimulusmaterial mit wenigen Stimuli (die geometrischen Figuren, die auf vier Dimensionen variieren) einmal mit einer expliziten Entscheidungsregel und einmal mit einer nicht verbalisierbaren Regel unter zwei

verschiedenen Bedingungen lernen: einmal als einzelne Aufgabe und einmal mit einem numerischen Stroop-Test als Parallelaufgabe (single-task versus dual-task-condition). Sie machten dabei die Vorhersage, dass das Bearbeiten der Parallelaufgabe stärker mit dem regelbasierten Kategorienlernen interferiert als mit dem prozeduralen Lernen, da beide Aufgaben ähnliche Anforderungen stellen - insbesondere exekutive Kontrolle und selektive Aufmerksamkeit - und damit auch ähnliche neuronale Strukturen ansprechen. Ihre Ergebnisse zeigen tatsächlich, dass die beiden Bedingungen sich differentiell auf die beiden Lernaufgaben auswirken, und zwar im Sinne der Vorhersage: Das Lernen der expliziten Regel war durch die Parallelaufgabe deutlich beeinträchtigt, während das prozedurale Lernen sich in den beiden Bedingungen nicht signifikant unterschied. Ein Einwand gegen die Interpretation einer differentiellen Auswirkung unterschiedlicher Bedingungen auf die beiden Lernaufgaben als Hinweis auf zwei voneinander zu unterscheidende Lernsysteme lautet, dass die beiden Lernaufgaben sich nur durch den Schwierigkeitsgrad unterschieden, denn die explizite Aufgabe ist in der Regel - aufgrund der einfacheren Entscheidungsregel - leichter zu lernen. Die eben beschriebenen Ergebnisse entkräften jedoch diesen Einwand, da die Einführung einer Parallelaufgabe die Leistungen im eigentlich einfacheren expliziten, regelbasierten Lernen beeinträchtigte, während die Leistungen in der eigentlich schwierigeren „information-integration“-Aufgabe unbeeinträchtigt blieben.

Um in einer Reihe von weiteren Experimenten die Existenz zweier voneinander getrennter Lernsysteme zu zeigen, machten die Mitglieder der Arbeitsgruppe um Ashby sich die aus COVIS abgeleiteten Vorhersagen zur unterschiedlichen Verarbeitung von Feedback in den beiden Systemen zunutze. Eine experimentelle Manipulation, die sich differentiell auf die Lernleistung in einer expliziten und einer prozeduralen Aufgabe auswirkt, ist z.B. das Verzögern der normalerweise sofort nach jeder Antwort gegebenen Rückmeldung (Maddox, Ashby & Bohil, 2003; Maddox & Ing, 2005). Das Verzögern des Feedbacks um fünf Sekunden (normalerweise liegen zwischen der Antwort der Versuchsperson und dem Beginn der Rückmeldung 500 Millisekunden) führte zu einer deutlichen Verschlechterung der Lernleistung in der prozeduralen Aufgabe, während sich die Leistung in der expliziten Aufgabe nicht veränderte. Die Autoren führten außerdem modellbasierte Analysen durch, um die jeweils von den Probanden angewandte Strategie zu bestimmen, und kamen zu dem Ergebnis, dass die Versuchspersonen in der Bedingung mit dem verzögerten Feedback häufiger eine regelbasierte Strategie anwendeten, um die prozedurale Aufgabe zu lösen, als in der Bedingung mit dem unmittelbaren Feedback und darüber hinaus auch die wenigen,

die eine „information-integration“-Strategie anwendeten, weniger genau vorgingen. Die Autoren werteten die Ergebnisse als Bestätigung der COVIS-Theorie in dem Sinne, dass beim prozeduralen Lernen ein dopamin-vermitteltes Belohnungssignal aus der substantia nigra im Nucleus caudatus diejenigen Synapsen stärkt, die zuvor aktiv waren, d.h. die an der Verhaltensantwort beteiligt waren, die die Belohnung ausgelöst haben. Damit die Assoziation zwischen Stimulus und Kategorie gelernt werden kann, muss also das Belohnungssignal dann im Nucleus caudatus eintreffen, wenn noch ein chemischer Marker vorhanden ist, der anzeigt, welche Synapsen zuvor aktiv waren. Der kritische Mechanismus für das prozedurale Lernen sei also ein enger zeitlicher Zusammenhang zwischen Verhaltensantwort und Feedback, während beim expliziten Lernen verbalisierbare Regeln gelernt werden, die im Arbeitsgedächtnis gespeichert werden, bis das Feedback-Signal kommt - auch wenn es verzögert eintritt. In einer weiteren Arbeit zur zeitlichen Verarbeitung des Feedback-Signals konnten Maddox, Ashby, Ing und Pickering (2004) zeigen, dass die sofortige Vorgabe einer Gedächtnisaufgabe nach Erhalt der Rückmeldung eine schlechtere Leistung in der regelbasierten Aufgabe zur Folge hat, während die Leistung in der prozeduralen Aufgabe dadurch nicht beeinträchtigt wird. Liegt zwischen dem Erhalt der Rückmeldung und der Vorgabe der Gedächtnisaufgabe hingegen ein zeitlicher Abstand, zeigt sich in beiden Aufgaben eine unbeeinträchtigte Leistung. Die Autoren erklären diesen Befund so, dass das Lernen und dabei insbesondere die Verarbeitung von Feedback im sehr flexiblen und schnellen expliziten System mit einem stärkeren Aufwand und einer größeren Konzentrationsleistung verbunden ist als im prozeduralen System - Regeln müssen ausgewählt, getestet und eventuell verworfen und durch neue Regeln ersetzt werden. Im prozeduralen System hingegen, das langsam und allmählich über viele Durchgänge lernt, muss das Feedback in großer zeitlicher Nähe zur Reaktion passieren und wird dann automatisch verarbeitet. Muss also direkt nach dem Erhalt der Rückmeldung eine Gedächtnisaufgabe bearbeitet werden, wird die aufwändige und Aufmerksamkeit beanspruchende Verarbeitung des Feedbacks im expliziten System gestört, während die automatische Verarbeitung des Feedbacks im prozeduralen System unbeeinträchtigt bleibt. In einer weiteren Untersuchung ließen Ashby, Maddox und Bohil (2002) eine regelbasierte und eine prozedurale Aufgabe unter zwei verschiedenen Bedingungen lernen: einmal auf die klassische Art mit Feedback und einmal über Beobachtungslernen, d.h. den Probanden wurde eine der beiden Kategorien zusammen mit einem Stimulus, der in diese Kategorie gehört, gezeigt. Wie oben beschrieben, geht COVIS davon aus, dass ein dopaminvermit-

teltes Belohnungssignal für das prozedurale Lernen eine besondere Rolle spielt. Da in der Beobachtungsbedingung kein Feedback und damit auch keine Verstärkung stattfindet, lautete die Hypothese, dass sich in dieser Bedingung schlechter prozedural lernen lasse. Es fand sich ein allgemeiner Vorteil des feedback-basierten Lernens bei beiden Lernarten, jedoch auch der vorhergesagte Interaktionseffekt: Beim regelbasierten Lernen war der Einfluss der Lernbedingung gering, während beim prozeduralen Lernen die Ergebnisse in der Beobachtungsbedingung sehr viel schlechter waren als in der Feedback-Bedingung.

Zusammenfassend sprechen die Ergebnisse der Arbeitsgruppe dafür, dass sich zwei unterschiedliche Lernsysteme mit unterschiedlichen Eigenschaften - insbesondere bezüglich der Verarbeitung von Feedback - identifizieren lassen.

1.4.4 Die Rolle des Striatums beim perzeptuellen Kategorienlernen – Studien mit Patienten

Um die Rolle des Striatums beim Kategorienlernen besser zu verstehen, wurde eine Reihe von Untersuchungen an Patienten mit striatalen Dysfunktionen - Patienten mit Morbus Parkinson und mit Morbus Huntington - durchgeführt. Da jedoch laut COVIS die Basalganglien sowohl beim regelbasierten (Kopf des Nucleus caudatus) als auch beim prozeduralen Lernen (Schwanz des Nucleus caudatus) eine Rolle spielen, müssten die Patienten auch in beiden Arten von Aufgaben beeinträchtigt sein, allerdings ergibt sich hier ein widersprüchliches Bild.

Für das regelbasierte Lernen konnten Maddox, Aparicio, Marchant und Ivry (2005) eine Beeinträchtigung von Patienten mit Morbus Parkinson sowohl in Aufgaben, die die Orientierung an einem internalen Bezugspunkt, als auch in Aufgaben, die die Orientierung an einem externalen Bezugspunkt erforderten, zeigen. Im Gegensatz dazu zeigten Patienten mit cerebellären Schäden keine Beeinträchtigungen im regelbasierten Kategorienlernen. Diese Dissoziation innerhalb der Patientengruppen schließt aus, dass die erhaltenen Ergebnisse nur auf ein allgemeines kognitives Defizit aufgrund einer - wie auch immer gearteten - Hirnschädigung zurückzuführen sind. Ashby, Noble, Filoteo, Waldron und Ell (2003) fanden ebenfalls beeinträchtigte Leistungen von Patienten mit Morbus Parkinson im regelbasierten Lernen. In weiteren Untersuchungen konnte dies jedoch nicht betätigt werden. Maddox und Filoteo (2001) verwendeten im Rahmen der oben beschriebenen perzeptuellen Kategorisierungsaufgabe Stimuli, die aus einer vertikalen und einer horizontalen Linie

zusammengesetzt sind, und stellten das Lernen von einfachen, linearen und komplexeren nonlinearen Entscheidungsregeln gegenüber. Ihre Ergebnisse zeigen, dass Parkinsonpatienten die einfache, lineare Regel genauso gut lernen wie gesunde Kontrollprobanden, während sich beim Lernen der komplexen, nonlinearen Regel deutliche Defizite zeigten. Dabei betonen sie, dass Probanden in vielen Fällen in der Lage seien, lineare Regeln verbal zu beschreiben, während nonlineare Regeln nicht verbalisierbar seien, so dass es nahe liegt, in der Aufgabe mit der linearen Regel eine explizite und in der Aufgabe mit der nonlinearen Regel eine prozedurale Aufgabe zu sehen. Dafür spricht auch, dass sich in der Studie ein Zusammenhang zwischen den Leistungen in der linearen Kategorisierungsaufgabe und im Wisconsin Card Sorting Test (WCST) - einem klassischen „frontalen“ Test für regelbasiertes, hypothesengeleitetes Lernen - fand, während zwischen den Leistungen in der nonlinearen Kategorisierungsaufgabe und im WCST kein Zusammenhang bestand. Es scheinen also Parkinsonpatienten nicht unter allen Umständen im expliziten regelbasierten Lernen beeinträchtigt zu sein. Andererseits wiederum zeigten Patienten mit Morbus Huntington beeinträchtigte Leistungen sowohl in der linearen als auch in der nonlinearen Bedingung (Filoteo, Maddox & Davis, 2001a).

Mit dem gleichen Stimulusmaterial, allerdings nur in der Bedingung mit der komplexen, nonlinearen Regel, untersuchten Filoteo, Maddox und Davis (2001b) zwei amnestische Patienten. Diese zeigten keine Beeinträchtigungen beim Lernen und erbrachten auch nach einer Pause von 24 Stunden noch dieselbe Lernleistung wie gesunde Kontrollprobanden. Dies spricht dafür, dass das hippocampale System bei dieser Art des Kategorienlernens keine Rolle spielt.

Schließlich verwendeten Filoteo, Maddox, Salmon und Song (2005b) als Stimulusmaterial Linien mit verschiedener Länge und Orientierung und ordneten dies aufgrund der nicht verbalisierbaren Regel (da die beiden Dimensionen in unterschiedlichen physikalischen Einheiten ausgedrückt werden) als prozedurale Lernaufgabe ein. Sie untersuchten Parkinsonpatienten und gesunde Kontrollprobanden in zwei Bedingungen: mit einer linearen und einer nonlinearen Regel. Die Patienten waren in der Bedingung mit der nonlinearen Regel gegenüber gesunden Kontrollprobanden beeinträchtigt, während sich in der Aufgabe mit der linearen Regel kein Unterschied zwischen Patienten und Probanden zeigte (dasselbe Muster wie bei Maddox und Filoteo (2001)). Bezüglich der Bedeutung des Striatums für das prozedurale Kategorienlernen sind die Befunde insgesamt also widersprüchlich: In

einer Studie fand sich bei Patienten mit striatalen Dysfunktionen keine Beeinträchtigung (Ashby et al., 2003), in zwei anderen zeigten sich Beeinträchtigungen, jedoch nur unter bestimmten Bedingungen, nämlich bei einer komplexen, nonlinearen Regel (Maddox & Filoteo, 2001; Filoteo et al., 2005b). Ashby, Waldron, Lee und Berkman (2001), ausgehend von einer Modellvorstellung von Ashby und Waldron (1999), die das prozedurale Kategorienlernen im Striatum beschreibt, meinen, dass das Lernen komplexer nonlinearer Regeln in stärkerem Maße striatal vermittelt sei als das Lernen einfacher linearer Regeln, allerdings bleibt unklar, wieso in der Studie von Filoteo et al. (2005b) gar keine Beeinträchtigung beim Lernen einer linearen Regel gefunden wurde.

Im nächsten Abschnitt sollen die Befunde aus einem weiteren Paradigma des Kategorielernens, dem probabilistischen Klassifikationslernen, vorgestellt werden, das traditionell aus dem Bereich des impliziten Lernens, genauer, des Lernens von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (habit learning), stammt.

1.4.5 Probabilistisches Klassifikationslernen (habit learning)

Das einflussreichste Paradigma im Bereich des habit learning, also des Lernens von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen, ist das probabilistische Klassifikationslernen. Dieses Paradigma stellt den Versuch dar, das habit learning aus tierexperimentellen Studien auf menschliches Lernen zu übertragen. Das habit learning wurde mit verschiedenen Paradigmen z.B. an Affen und Ratten getestet, und aus den Ergebnissen verschiedener Läsionsstudien entstand die Idee von abgrenzbaren Gedächtnissystemen im Hippocampus und im Striatum bzw. von einem striatalen „habit learning system“ (Salmon & Butters, 1995; Squire et al., 1993). So zeigten Ratten mit einer Fornixläsion eine beeinträchtigte Leistung in einer Aufgabe, bei der sie lernen sollten, bereits erkundete Arme eines strahlenförmigen Labyrinths zu meiden („win-shift-task“), während Ratten mit einer Läsion des Nucleus caudatus hier eine normale Lernleistung zeigten. Umgekehrt waren die Ratten mit der Fornixläsion unbeeinträchtigt in einem Test mit der Aufgabe, diejenigen Labyrintharme aufzusuchen, die mit einem Licht gekennzeichnet waren („win-stay-task“), während die Ratten mit der caudatus-Läsion hier schlechteres Lernen zeigten (Packard, Hirsh & White, 1989). Eine wichtige Eigenschaft des habit learning, das in weiteren tierexperimentellen Studien von einem intakten Striatum abhängig war, ist das langsame, graduelle Lernen über eine große Zahl von Durchgängen (Knowlton, Squire & Gluck, 1994). Die in tier-

experimentellen Studien verwendeten Paradigmen ließen sich jedoch nicht ohne weiteres übertragen, um menschliches Lernverhalten zu erforschen, da beim Menschen eine Dominanz des deklarativen Lernsystems besteht, so dass dieselbe Aufgabe, die von Tieren ohne Beteiligung des medialen Temporallappens gelernt wird, beim Menschen über das deklarative System im medialen Temporallappen gelernt wird. Das kann man daraus schließen, dass amnestische Patienten im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden hier schlechter abschneiden (Knowlton et al., 1994) bzw. sich gar kein Lernen zeigt wie in einer Studie zum „concurrent discrimination learning“ an amnestischen Patienten (Hood, Postle & Corkin, 1999). Andererseits konnten Bayley, Frascino und Squire (2005) mit einem „object discrimination task“ robustes habit learning bei zwei amnestischen Patienten zeigen, denen das Bewusstsein dafür, dass sie etwas gelernt hatten, völlig fehlte. Jedoch ist der Test nur bei Patienten mit einem stark beschädigten medialen Temporallappen sinnvoll einsetzbar, da er von gesunden Menschen sehr schnell explizit gelernt wird und somit nicht geeignet ist, um die Umstände, unter denen gesunde Menschen implizit lernen, zu untersuchen. Auf der Suche nach einem zum habit learning bei Tieren analogen Paradigma, das sich kaum deklarativ lernen lässt, verwendeten Knowlton et al. (1994) das probabilistische Klassifikationslernen, bei dem die Verknüpfung zwischen einem Stimulus und der dazugehörigen Kategorie probabilistisch ist, d.h. ein Durchgang bietet keine verlässliche Information über die Kategorienzugehörigkeit, sondern erst das durch mehrere Durchgänge angesammelte Wissen, so dass es kaum offensichtliche Verknüpfungen gibt, die sich die Probanden bewusst merken könnten. Umgesetzt wird die probabilistische Struktur bei einem häufig verwendeten Test, dem so genannten „Wetter-Test“ („weather prediction task“) (siehe Abbildung 6) folgendermaßen: Die Probanden bekommen Kombinationen von einem, zwei, drei oder vier Stimuli (Karten mit bestimmten Mustern) gezeigt und sollen in jedem Durchgang anhand der spezifischen Kombination der Stimuli eine von zwei Kategorien wählen (wird es regnen oder wird die Sonne scheinen?).

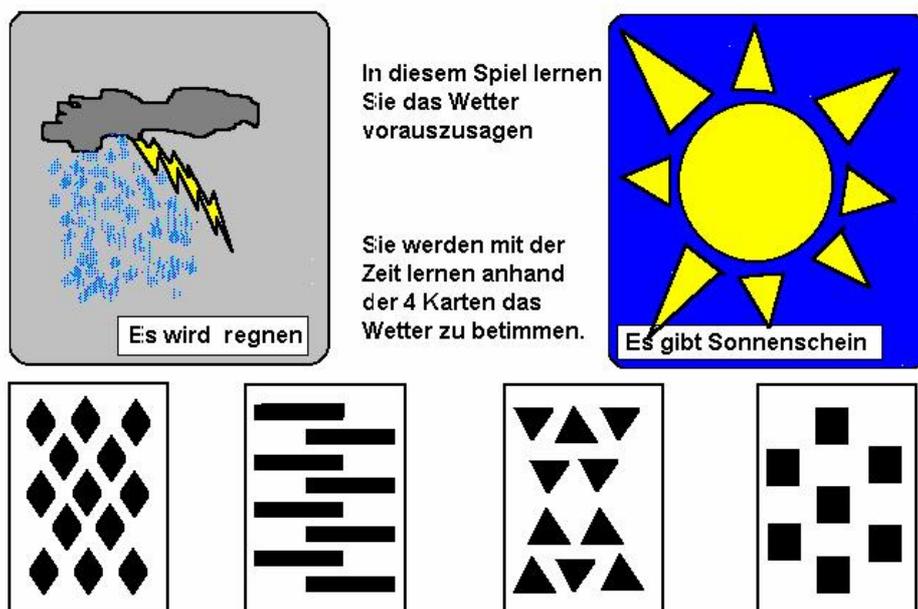


Abbildung 6. Instruktion aus dem „Wetter-Test“ Die beiden Kategorien werden durch die Bilder verdeutlicht, in der unteren Reihe sind die Stimuluskarten gezeigt. Die Probanden bekommen eine bis vier Karten gezeigt und sollen anhand der Kombination von Karten eine Kategorie (Sonne oder Regen) auswählen.

Jeder der vier verschiedenen Stimuli für sich ist mit einer festen Wahrscheinlichkeit mit den Kategorien verknüpft (eine bestimmte Karte sagt z.B. in 80% der Fälle Regen voraus, in 20% Sonne), die Probanden kennen jedoch diese Wahrscheinlichkeiten nicht. Aus der Kombination dieser Einzelwahrscheinlichkeiten lässt sich für jede der fünfzehn möglichen Kombinationen von Stimuli die Wahrscheinlichkeit berechnen, mit der diese Kombination mit einer der beiden Kategorien verknüpft ist. In jedem Durchgang bekommen die Probanden, nachdem sie für eine bestimmte Stimuluskonfiguration eine Kategorie gewählt haben (also eine Vorhersage abgegeben haben), eine Rückmeldung, ob ihre Entscheidung richtig oder falsch war.

Das Paradigma ist auch mit anderen Testoberflächen, also einer abweichenden „Geschichte“ verwendet worden, z.B. sollte anhand des Aussehens einer Figur (Vorhandensein von Accessoires wie Hut, Sonnenbrille oder Schnurrbart) vorhergesagt werden, welche Sorte Eiscreme sie bevorzugt (Schokolade oder Vanille), das dahinter liegende

Prinzip und die probabilistische Struktur waren dabei jedoch immer dieselben (Shohamy, Myers, Grossman, Sage, Gluck & Poldrack, 2004a).

Knowlton et al. (1994) etablierten dieses Paradigma als nondeklarativen Lerntest, indem sie zeigten, dass amnestische Patienten zumindest zu Beginn des Tests eine normale Lernleistung verglichen mit gesunden Kontrollprobanden zeigten, wenn auch nach längerem Training die gesunden Probanden besser abschnitten. Die Autoren interpretieren diese Ergebnisse so, dass sowohl zu Beginn des Lernens nondeklaratives Wissen erworben wird als auch im Verlauf des Lernens deklaratives Wissen über die Verknüpfung von Stimuli und Kategorien. Dieses hippocampus-abhängige Wissen sei aufgrund der probabilistischen Struktur erst später im Verlauf, wenn genügend Durchgänge gespeichert worden sind, robust genug, um die Testleistung zu beeinflussen. Allerdings fanden Hopkins, Myers, Shohamy, Grossman und Gluck (2004) bei Patienten mit einer Amnesie aufgrund eines hypoxischen Hirnschadens beeinträchtigte Leistungen auch zu Beginn des Lernens, was darauf hinweist, dass unter bestimmten Bedingungen der deklarative Anteil des Lernens auch beim frühen Lernen eine wichtige Rolle spielt. Knowlton et al. (1996a) konnten anhand des probabilistischen Klassifikationslernens eine doppelte Dissoziation zwischen amnestischen Patienten und Patienten mit einem Morbus Parkinson zeigen: Während die amnestischen Patienten eine normale Lernleistung in der eigentlichen Aufgabe zeigten, sich aber an Einzelheiten des Trainings nicht erinnern konnten, waren die Patienten mit Morbus Parkinson in der Lernleistung beeinträchtigt, konnten sich aber an Einzelheiten des Trainings gut erinnern. Witt, Nuhsman und Deuschl (2002a) replizierten den Befund einer beeinträchtigten Lernleistung bei Patienten mit Morbus Parkinson und zeigten darüber hinaus unbeeinträchtigte Leistungen bei Patienten mit cerebellären Schäden. Auch bei einem Patienten mit einer Schädigung des Striatums (Kopf des Nucleus caudatus, anteriore und posteriore Teile des Putamens) aufgrund einer cerebralen Vaskulitis wurde eine Beeinträchtigung des probabilistischen Klassifikationslernens gezeigt, die unabhängig von einer Beeinträchtigung der exekutiven Funktionen (gemessen mit dem Wisconsin Card Sorting Test, WCST) bestand (Keri, Beniczky, Voros, Janka, Benedek & Vecsei, 2002). Poldrack, Prabhakaran, Seger und Gabrieli (1999) fanden in einer fMRT-Studie mit gesunden Probanden Hinweise für die Bedeutung des Striatums beim probabilistischen Klassifikationslernen. Kéri, Szlobodnyik, Benedek, Janka und Gádoros (2002) konnten zeigen, dass Kinder mit Tourette-Syndrom - einer Erkrankung, bei der als neuronale Grundlage funktionale und strukturelle Veränderungen der Basalganglien vermutet werden - beim probabilisti-

schen Klassifikationslernen ebenfalls gegenüber gesunden Kindern deutlich beeinträchtigt sind und dass diese Beeinträchtigung einen deutlichen Zusammenhang mit der Schwere der Symptomatik zeigt. Durch diese Ergebnisse wurde der „Wetter-Test“ als ein für striatale Funktionen sensitives Paradigma etabliert.

In letzter Zeit wurden außerdem Möglichkeiten entwickelt, verschiedene Strategien, mit denen der „Wetter-Test“ gelöst werden kann, zu beschreiben (Meeter, Myers, Shohamy, Hopkins & Gluck, 2006). So identifizierten Gluck, Shohamy und Myers (2002) drei verschiedene Arten von Strategien:

- „one-cue-learning“: Wahl der Kategorie in Abhängigkeit von einer bestimmten Karte, z.B. „Immer wenn die Karte mit den Rechtecken zu sehen ist, Sonne, sonst Regen“
- „multi-cue-learning“: Vorhersage in Abhängigkeit von der Kombination der Karten in jedem Durchgang, z.B. „Rechtecke und Rauten sprechen für Sonne, Dreiecke und Kreise für Regen“
- „singleton learning“: Hier lernen die Versuchspersonen die richtige Vorhersage für die Durchgänge, in denen nur eine Karte präsentiert wird und raten in den anderen Durchgängen.

Mit Hilfe dieser Strategien ließ sich das Antwortverhalten von 59 der 60 Probanden beschreiben, und die „singleton“-Strategie wurde von den Probanden mit Abstand am häufigsten verwendet. Allerdings fand sich auch eine Verschiebung hin zu der „multi-cue“-Strategie, mit der sich ein besseres Ergebnis erzielen lässt, im Verlauf des Trainings. Die Autoren diskutieren weiterhin die Frage, ob sich angesichts der leicht zu verbalisierenden Strategien die Annahme, dass der „Wetter-Test“ implizit gelernt wird, aufrechterhalten lässt. Dabei gehen sie davon aus, dass die Existenz unterschiedlicher Strategien zur Lösung der Aufgabe noch nichts darüber aussagt, ob diese Strategien implizit oder explizit gelernt werden - jede Strategie könne auf beide Arten gelernt werden - und schlagen in der Konsequenz vor, dass bei der Bearbeitung des „Wetter-Tests“ verschiedene Strategien und Lernsysteme in Kombination verwendet werden: „In fact, it seems plausible to suggest that a normal healthy human may use a variety of strategies and brain substrates - possibly in parallel - to approach a difficult categorization task“. Möglicherweise träten bei Patienten, bei denen ein oder mehrere Lernsysteme beeinträchtigt seien, kompensatorische Mecha-

nismen auf, die zu einer unauffälligen Lernleistung führen. Deswegen sei die Analyse der verwendeten Strategien bei Untersuchungen an Patientengruppen von großer Bedeutung. Shohamy, Myers, Onlaor und Gluck (2004b) wendeten die Strategieanalyse auf Daten von Patienten mit Morbus Parkinson und gesunden Kontrollprobanden an und konnten zeigen, dass die Verwendung der Strategien tatsächlich unterschiedlich war: Während die gesunden Probanden zwar zu Beginn des Lernens häufiger die suboptimale „singleton“-Strategie benutzten, dann im Verlauf des Lernens aber zunehmend die „multi-cue“-Strategie anwendeten, stieg die Anzahl der Patienten mit „multi-cue“-Strategie über den Lernverlauf kaum an, sie blieben häufiger bei der suboptimalen „singleton“-Strategie. Als Erklärungsansätze dafür diskutieren die Autoren entweder ein Defizit der Parkinsonpatienten im Erwerb von Verknüpfungen zwischen multiplen Hinweisreizen und den entsprechenden Kategorien oder eine Beeinträchtigung des Strategiewechsels.

Aus den bisher vorgestellten Befunden zum probabilistischen Klassifikationslernen lassen sich einige Hinweise auf unterschiedliche Lernsysteme ableiten, es scheint jedoch nicht so zu sein, dass das Paradigma selektiv nur eins der Systeme anspricht, sondern je nach Patientengruppe bzw. zeitlichem Verlauf können verschiedene Strategien und Systeme zum Lernerfolg führen. Für diese Sichtweise sprechen auch die Ergebnisse der Lernaufgabe „erworbene Gleichheit“ (acquired equivalence), bei der ebenfalls Reiz-Reaktions-Verknüpfungen gelernt werden müssen, allerdings ohne probabilistische Struktur, dafür gibt es 6 verschiedene Paarungen (4 unterschiedliche Stimuli müssen mit ebenfalls 4 unterschiedlichen Konsequenzen verknüpft werden) (Myers, Shohamy, Gluck, Grossman, Kluger, Ferris, Golomb, Schnirman & Schwartz, 2003). In diesem Paarassoziationslernen zeigten Parkinsonpatienten ebenfalls eine schlechtere Leistung als gesunde Kontrollprobanden, während sich in der darauf folgenden Transferaufgabe, in der die bisher gelernten Stimuli in neuen Kombinationen dargeboten wurden, die Leistungen in beiden Gruppen nicht unterschieden. Im Gegensatz dazu zeigten Patienten mit hippocampalen Schädigungen beim Lernen der Assoziationen keine Defizite, scheiterten aber beim Transfer des Gelernten. Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse so, dass die Basalganglien eine kritische Struktur beim Lernen einfacher Assoziationen sind, das hippocampale System, von dem die Transferleistung abhängt, jedoch auch beteiligt ist und je nach Aufgabe bzw. Schädigung eines der Systeme beide flexibel eingesetzt werden können und interagieren. Eine ähnliche Interpretation legen die Daten von Moody, Bookheimer, Vanek und Knowlton (2004) zum „Wettertest“ nahe, die fMRT-Daten von Parkinsonpatienten und gesunden

Kontrollprobanden analysierten und eine geringere Aktivierung des nucleus caudatus und eine stärkere Aktivierung des medialen Temporallappens und präfrontaler Regionen, die mit dem Abruf expliziter Gedächtnisinhalte in Verbindung gebracht werden, bei Patienten mit Morbus Parkinson im Vergleich zu den Kontrollprobanden fanden. Sie ziehen daraus den Schluss, dass eine Interaktion zwischen dem striatalen und dem medial-temporalen Gedächtnissystem stattfindet. Die fMRT-Daten von Poldrack, Clark, Paré-Blagoev, Shohamy, Creso Moyano, Myers und Gluck (2001) deuten ebenfalls in diese Richtung und sprechen aufgrund einer negativen Korrelation zwischen der Aktivierung des medialen Temporallappens und der Aktivierung des Striatums für eine Konkurrenz der Systeme beim Bearbeiten der Aufgabe (siehe auch Poldrack und Packard (2003)).

Aus dem bisher Gesagten wird deutlich, dass die traditionelle Einordnung des „Wettertests“ als impliziter Lernest zumindest fraglich erscheint. So gehen einige Autoren auch davon aus, dass beim „Wetter-Test“ eher ein expliziter, hypothesen-testender Prozess im Sinne frontal vermittelter exekutiver Funktionen eine Rolle spielt (Price, 2005). In einer Studie wurde die Leistung von Parkinsonpatienten und älteren und jüngeren gesunden Kontrollprobanden im Wetter-Test und in einer impliziten Kategorisierungsaufgabe ähnlich der von Ashby und Ell (2001) mit wenigen geometrischen Figuren als Stimuli verglichen. Es fand sich zwar eine beeinträchtigte Leistung von Parkinsonpatienten in beiden Aufgaben, jedoch war die Klassifikationsgenauigkeit in beiden Aufgaben nicht korreliert. Verschiedene andere Faktoren wie das Bewusstsein für die zugrunde liegende Aufgabenstruktur, die Fähigkeit zum expliziten Hypothesentesten, die Arbeitsgedächtnisleistung und das Alter hatten einen Einfluss auf die Klassifikationsleistung im „Wetter-Test“ aber nicht auf die Leistung in der impliziten Kategorisierungsaufgabe. Dies wurde von den Autoren so interpretiert, dass an beiden Aufgaben unterschiedliche Systeme beteiligt waren, nämlich ein explizites, hypothesentestendes System am „Wetter-Test“ und ein implizites an der anderen Aufgabe (Price, 2005), wobei insbesondere das Generieren und Auswählen von Hypothesen sowie die Arbeitsgedächtnisleistung und weniger der Aufgabenwechsel (rule switching) die Leistung im „Wetter-Test“ bestimmen.

1.4.6 Lernen künstlicher Grammatiken und prototypischer Punktmuster

Zwei weitere einflussreiche Paradigmen des Kategorienlernens, die aus der Tradition der impliziten Lernparadigmen stammen und einige Gemeinsamkeiten haben, sind das Lernen

künstlicher Grammatiken (artificial grammar learning, AGL) (Reber, 1967, 1989) und das Lernen prototypischer Punktmuster (prototype dot pattern classification) (Knowlton & Squire, 1993; Reber & Squire, 1999). In beiden Paradigmen werden die Probanden nicht explizit zum Lernen aufgefordert und lernen nicht durch Feedback, sondern bekommen die Stimuli einer Kategorie gezeigt (in einem Fall Buchstabenreihen, die einem bestimmten grammatischen System, einer künstlichen Grammatik, gehorchen, und im anderen Fall stärker oder schwächer verzerrte Versionen eines prototypischen Punktmusters) und sollen bei dann später in der Testphase gezeigten weiteren Stimuli entscheiden, ob diese auch zu der entsprechenden Kategorie gehören oder nicht. Beim Lernen künstlicher Grammatiken zeigen amnestische Patienten (Knowlton et al., 1994; Meulemans & Van der Linden, 2003), Patienten mit Morbus Parkinson (Peigneux, Meulemans, Van der Linden, Salmon & Petit, 1999; Reber & Squire, 1999; Smith et al., 2001; Witt, Nuhman & Deuschl, 2002b) und Patienten mit Morbus Huntington (Knowlton, Squire, Paulsen, Swerdlow, Swenson & Butters, 1996b) unbeeinträchtigte Leistungen, so dass zusätzlich zu der Einordnung als impliziter Lerntest davon ausgegangen wird, dass das Lernen künstlicher Grammatiken nicht auf die Funktion des Striatums oder des medialen Temporallappens angewiesen ist. Es wird davon ausgegangen, dass der zugrunde liegende neurobiologische Mechanismus mit neuronalen Veränderungen innerhalb des sensorischen Neokortex‘ ähnlich wie beim Phänomen des priming zu tun haben könnte (Keri, 2003; Knowlton & Squire, 1996). Bildgebende Studien mit funktioneller Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRT) von Skosnik, Mirza, Gitelman, Parrish, Mesulam und Reber (2002) und von Seger, Prabhakaran, Poldrack und Gabrieli (2000) fanden Hinweise für die Richtigkeit dieser Annahme. Ebenso wird auch das Lernen prototypischer Punktmuster eingeordnet, bei dem ebenfalls amnestische Patienten und Parkinsonpatienten unbeeinträchtigte Leistungen zeigen (Reber & Squire, 1999).

1.4.7 Schlussfolgerungen zum striatalen System beim Kategorienlernen

Aus den bisher vorgestellten Ergebnissen wird deutlich, dass es viele unterschiedliche Arten des Kategorienlernens gibt, denen unterschiedliche Strukturen und teilweise überlappende, miteinander in Verbindung stehende neuronale Netzwerke zugrunde liegen. Keri (2003) nennt in seiner Übersichtsarbeit (1) den sensorischen Neokortex als Basis für priming-ähnliches Kategorienlernen durch Ähnlichkeit wie beim Lernen künstlicher

Grammatiken und prototypischer Punktmuster, (2) den medialen Temporallappen mit der Funktion des expliziten Erinnerns an bestimmte Stimuli und Exemplare einer Kategorie sowie der Speicherung des Kontextes, (3) den lateral präfrontalen und anterioren cingulären Kortex als übergeordnetes System, das mit allen anderen in Verbindung steht und mit exekutiven Funktionen wie dem Generieren abstrakter Regeln, dem Treffen von Entscheidungen und der Aufmerksamkeitslenkung betraut ist, und schließlich (4) die Basalganglien, die als kritische Struktur für feedback-basiertes Lernen gelten können, weil Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen gebildet werden. Außerdem findet dort die kategoriale Integration verschiedener Stimuli statt.

So scheint es, dass die traditionelle Vorstellung, das Striatum habe nur mit dem prozeduralen Erwerb von Fertigkeiten und Reiz-Reaktions-Verknüpfungen zu tun, deutlich zu kurz gegriffen ist. Auch aus bildgebenden Studien ergeben sich Hinweise, dass nicht der implizite oder explizite (hier: unbewusste oder bewusste) Charakter des Lernens bestimmt, ob Strukturen der Basalganglien oder des medialen Temporallappens aktiviert waren, sondern dass dies von der Struktur des zu lernenden Materials abhing (Rose, Haider, Weiller & Büchel, 2002, 2004). In dieser Untersuchung wurden Reiz-Reaktions-Verknüpfungen explizit gelernt und aktivierten die Basalganglien, während am impliziten Lernen einer versteckten sequentiellen Regel Strukturen des medialen Temporallappens beteiligt waren. Aus diesen Überlegungen wird die Notwendigkeit deutlich, die Lernparadigmen zu „zerlegen“ und die Bedeutung des Striatums für einzelne Aufgabeneigenschaften genauer zu untersuchen. Dafür ist es von großer Bedeutung, diese Aufgabeneigenschaften systematisch zu variieren und dieselbe Lernaufgabe in unterschiedlichen Bedingungen vorzugeben, die sich nur in einem einzigen Aspekt unterscheiden. Wie in den vorigen Abschnitten bereits an einigen Stellen deutlich wurde, sprechen einige empirische Ergebnisse dafür, dass im Zusammenhang mit dem striatalen Lernsystem insbesondere die Verarbeitung von Feedback bedeutsam ist (Keri, 2003), aber aus den bisher vorgestellten Daten der Patienten mit striatalen Dysfunktionen lassen sich keine Hinweise auf die Bedeutung des Striatums für diesen Aspekt des Lernens ableiten. Allerdings ist auffällig, dass Patienten mit striatalen Dysfunktionen insbesondere in solchen Lernaufgaben beeinträchtigt sind, in denen mit Feedback gearbeitet wird (insbesondere probabilistisches Klassifikationslernen), während sie in Aufgaben ohne Feedback keine Beeinträchtigung zeigen (Lernen künstlicher Grammatiken und prototypischer Punktmuster). Deswegen soll im folgenden Abschnitt auf diesen Aspekt eingegangen werden.

1.5 Bedeutung des Striatums für feedback-basiertes Lernen

1.5.1 Befunde zum instrumentellen Konditionieren

Es gibt eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit dem belohnungs-vermittelten Lernen (reward-based behavioral learning) im Sinne des instrumentellen Konditionierens beschäftigen. Dabei handelt es sich nicht um Klassifikationsaufgaben - also um Kategorienlernen - wie bei den bisher beschriebenen Studien, sondern um einfache Reiz-Reaktionsverknüpfungen. Andererseits lassen sich zumindest die als implizit beschriebenen Aufgaben des Kategorienlernens auch im Sinne eines Lernens von Reiz-Reaktionsverknüpfungen verstehen - so argumentieren Reber und Squire (1999), dass Patienten mit Morbus Parkinson im probabilistischen Klassifikationslernen deswegen beeinträchtigt seien, weil bei diesem Paradigma Reiz-Reaktionsverknüpfungen Durchgang für Durchgang durch Feedback (trial-by-trial-feedback) gelernt werden müssten. Deswegen könnte es interessant sein, sich die Ergebnisse zum reward-based behavioral learning anzusehen, auch wenn sich die verwendeten Paradigmen von denen des Kategorienlernens deutlich unterscheiden.

Die Rolle des Striatums und assoziierter Strukturen für die Verarbeitung von Feedback (Belohnung oder Bestrafung) wurde unter anderem anhand von Einzelzellableitungen an Affen gezeigt (Hollerman & Schultz, 1998). Eine wichtige Rolle spielt dabei der „Belohnungs-Vorhersage-Fehler“ (error in reward prediction), der damit zusammenhängt, dass Verhalten sich ändert, wenn Verstärker anders eintreffen als erwartet oder vorhergesagt, aber gleich bleibt, wenn Verstärker genauso eintreffen wie erwartet. Die Diskrepanz zwischen vorhergesagter und tatsächlich eintretender Verstärkung wird als reward prediction error bezeichnet. Dopaminerge Neurone in der Substantia nigra und der ventralen tegmentalen Area werden bei einem unvorhersehbaren Verstärker (bzw. wenn der Verstärker zu einer nicht vorhersehbaren Zeit kommt) aktiviert; sie reagieren nicht auf einen vorhersehbaren Verstärker; und sie zeigen eine negative Antwort, wenn ein Verstärker zu der vorhergesagten Zeit ausbleibt. Deswegen wird davon ausgegangen, dass diese Neurone das Fehlersignal bei der Vorhersage von Belohnungen codieren. Dieses fungiert möglicherweise als allgemeines Lernsignal, das im Striatum weiter verarbeitet wird, wobei verschiedene Populationen von striatalen Neuronen unterschiedlich auf verschiedene Aspekte der Belohnung reagieren, während die dopaminergen Neurone des Mittelhirns einheitlich auf

den Aspekt der Vorhersagbarkeit reagieren. Striatale Neurone im Nucleus caudatus, Putamen und ventralen Striatum (inklusive Nucleus accumbens) zeigen Aktivität in Verbindung mit der Erwartung und Entdeckung von Verstärkern, aber auch in Verbindung mit der Vorbereitung, Initiierung und Ausführung von Bewegungen, um den Verstärker zu erhalten (Schultz, Tremblay & Hollerman, 2000).

Die klassische Sicht auf die Funktionsweise des Striatums besagt, dass die Struktur verantwortlich ist für das Lernen von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (habit learning), verstärkt durch ein dopaminerges Belohnungssignal; jedoch lässt sich dem Lernen von Gewohnheiten das Lernen anhand von Konsequenzen gegenüberstellen, das die Antizipation von Belohnung oder Bestrafung und eine Erinnerung an den Wert dieser Konsequenzen sowie das Wissen um eine kausale Verknüpfung zwischen einer Handlung und ihren Konsequenzen voraussetzt. Dies kann als zielgerichtetes, intentionales Verhalten beschrieben werden, das durch seine Konsequenzen gesteuert wird und konzeptionell von dem klassischen Reiz-Reaktions-Lernen zu trennen ist, bei dem das Verhalten automatisch verknüpft ist mit bestimmten Reizen, die ihm vorausgehen (antecedents) (Yin & Knowlton, 2006). An Ratten mit einer Läsion des dorsolateralen Striatums (diese Region entspricht beim Menschen dem Putamen) konnte gezeigt werden, dass diese Region spezifisch für die Verknüpfung von Reizen und Reaktionen zuständig ist (Yin, Knowlton & Balleine, 2004). Aus diesen und anderen Befunden ziehen Yin und Knowlton (2006) den Schluss, dass sich das klassische Reiz-Reaktions-Lernen der motorischen Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleife mit dem Putamen als wichtigste striatale Struktur zuordnen lässt, während das zielgerichtete Lernen an Konsequenzen sich der präfrontalen oder exekutiven (bei Yin „assoziativen“) Schleife mit dem Nucleus caudatus als zentrale striatale Struktur zuordnen lässt. Beide Lernarten lassen sich jedoch häufig nur durch ausgefeilte Tests trennen, bei denen der Verstärkerwert verändert oder die Kontingenz zwischen Verhalten und Konsequenzen vermindert wird (devaluation bzw. contingency degradation), in realen Lernsituationen sind häufig sowohl das Reiz-Reaktions-Lernen (habit learning) als auch das zielgerichtete Lernen an Konsequenzen beteiligt (Yin & Knowlton, 2006).

Ausgehend von den beschriebenen tierexperimentellen Studien wurden verschiedene Lernparadigmen zum menschlichen reward-based behavioral learning entwickelt und die Rolle des Striatums dabei mittels fMRT untersucht. Meist wurde dabei mit Lernparadigmen gearbeitet, in denen die Probanden in Abhängigkeit von ihrer Leistung Geld gewinnen oder

verlieren konnten. Dabei wurde besonders die Bedeutung des ventralen Striatums mit dem Nucleus accumbens - der zusammen mit dem orbitofrontalen Cortex Teil der limbischen Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleife ist, die häufig als „Belohnungssystem“ beschrieben wird - für die Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung gezeigt. Aktivität im ventralen Striatum war dabei mit der Belohnungshöhe verknüpft (Galvan, Hare, Davidson, Spicer, Glover & Casey, 2005) und trat auch unabhängig von der Antizipation einer Belohnung auf (Cox, Andrade & Johnsrude, 2005).

Beim Lernen anhand von Belohnungen und Bestrafungen scheint jedoch nicht nur die limbische Basalganglien-thalamo-kortikale Schleife mit dem ventralen Striatum eine Rolle zu spielen, sondern es konnten auch Regionen der anderen Schleifen damit in Verbindung gebracht werden. Auch die Aktivierung des dorsalen Striatums und insbesondere des Nucleus caudatus hängt mit der Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung zusammen - dort zeigte sich eine positive Aktivität bei Belohnung, keine Aktivität bei neutralem Feedback und eine reduzierte Aktivität unterhalb der baseline bei Bestrafung (Delgado, Nystrom, Fissell, Noll & Fiez, 2000). Zur Rolle des Nucleus caudatus gibt es, ausgehend von einem Modell des Belohnungslernens (Barto, 1994), die Idee, dass Reiz-Reaktions-Verknüpfungen, die im Nucleus caudatus geformt werden (O'Doherty, Dayan, Schultz, Deichmann, Friston & Dolan, 2004) durch den dopaminergen reward-prediction error verstärkt bzw. modifiziert werden (Schultz et al., 2000). Der Nucleus caudatus würde dann also nicht - wie das ventrale Striatum - durch die Belohnung an sich aktiviert, sondern auf Kontingenzen zwischen Verhalten und dessen Konsequenzen (im Sinne von Feedback) reagieren. Dies steht im Einklang mit dem weiter oben beschriebenen Modell von Yin und Knowlton (2006), die das zielgerichtete Lernen an Konsequenzen ebenfalls mit dem Nucleus caudatus in Verbindung bringen. So wäre der Nucleus caudatus als Empfänger der dopaminergen Projektionen aus dem Mittelhirn als zentrale Struktur des Lernens durch Feedback, also der Anpassung von Verhalten durch Vorhersagen und Rückmeldung, anzusehen. O'Doherty et al. (2004) fanden in einer fMRT-Studie tatsächlich Belege dafür, dass das ventrale und das dorsale Striatum bei der Verarbeitung von Belohnung unterschiedliche Funktionen erfüllen: Während die Aktivität im ventralen Striatum nur mit der Vorhersage von Belohnungen (bei welchem Stimulus ist eine Belohnung zu erwarten?) zusammenhing, war die Aktivität im dorsalen Striatum mit der Modulation von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen in Anhängigkeit von Belohnungen (bei welchen Stimuli muss ich welches Verhalten zeigen, um eine Belohnung zu erhalten?) verknüpft.

In Übereinstimmung mit diesen Vorstellungen konnten Delgado, Miller, Inati und Phelbs (2005) in einer fMRT-Untersuchung zeigen, dass der Nucleus caudatus wichtig für das Lernen von Kontingenzen zwischen Reiz, Reaktion und Belohnung ist und dass das Aktivitätsmuster in dieser Struktur in Abhängigkeit vom Lernen und der Vorhersagbarkeit des Feedbacks moduliert wird. Sie benutzen dazu eine Aufgabe zum instrumentellen Konditionieren, die man sich wie eine vereinfachte Version des Wetter-Tests vorstellen kann: Die Teilnehmer sollten anhand eines zuvor gezeigten Symbols eins von zwei Ereignissen vorhersagen (Wert einer Karte kleiner oder größer 5), wobei die Symbole entweder mit einer Wahrscheinlichkeit von 100%, 67% oder 50% mit einem der beiden Ergebnisse verknüpft waren. Diese probabilistische Struktur wurde genutzt, um Vorhersagbarkeit und Lerngeschwindigkeit zu manipulieren und mit der Aktivität des Striatums in Verbindung bringen zu können und nicht, wie beim Wetter-Test, um explizites Lernen zu erschweren. Die Autoren gehen auf die Unterscheidung zwischen implizitem und explizitem Lernen nicht ein, da jedoch die Stimulusstruktur sehr viel einfacher ist als beim Wetter-Test (5 verschiedene Stimuli, die einzeln dargeboten werden), dürfte es möglich sein, sich die Reiz-Reaktions-Feedback-Verknüpfungen explizit zu merken - in den Durchgängen, in denen Lernen möglich ist, nämlich in den 100%- und 67%-Durchgängen. Trotzdem zeigte sich die lernabhängige Aktivität im Nucleus caudatus, auch wenn diese in den 100%-Durchgängen im Verlauf des Trainings abnahm.

Zu ähnlichen Ergebnissen zur Rolle des Nucleus caudatus kamen Haruno, Kuroda, Doya, Toyama, Kimura, Samejima, Imamizu und Kawato (2004). Sie benutzten für eine fMRT-Untersuchung ein Lernparadigma, bei dem die Probanden lernen sollten, einen Punkt nach rechts oder links in Richtung einer Zielposition zu bewegen. Waren sie dabei erfolgreich, bekamen sie eine Belohnung, wenn nicht, eine Bestrafung (in Form von Geld). Dabei waren die Entscheidung des Probanden (rechte oder linke Taste) und die Konsequenz (Springen des Punktes nach rechts oder links) in einer Bedingung deterministisch (linke Taste bewegt den Punkt immer nach rechts, rechte Taste immer nach links) und in drei weiteren Bedingungen probabilistisch (z.B. linke Taste bewegt den Punkt mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.8 nach links und mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.2 nach rechts und umgekehrt für die rechte Taste) miteinander verknüpft. Sie fanden einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Aktivität im ventralen Nucleus caudatus und der Verhaltensänderung bei diesem belohnungsabhängigen Lernen, die Aktivität im dorsalen Nucleus caudatus hingegen hing zusammen mit der Höhe der Belohnung über einige Durchgänge.

Die Autoren interpretieren dies als starken Hinweis dafür, dass der Nucleus caudatus eine wichtige Rolle bei der Art von Lernen spielt, die mit Fehlern in der Vorhersage von Belohnungen (reward prediction error) zu tun hat.

Zusätzlich gibt es Hinweise darauf, dass bei der Belohnung in Form von Geld die Aktivität des - ventralen und dorsalen - Striatums nicht nur von dem Belohnungsaspekt an sich - der hedonischen Komponente -, sondern von der Salienz der Belohnung abhängt, d.h. von der Bedeutung der Belohnung für das Subjekt - in einer fMRT-Studie dazu zeigte sich eine stärkere Aktivität im Striatum, wenn die Belohnung kontingent zum Verhalten des Subjekts gegeben wurde, also eine Bedeutung für sein Verhalten hatte, als wenn die Belohnung zufällig und unabhängig vom Verhalten erfolgte (Zink, Pagnoni, Martin-Skurski, Chappelow & Berns, 2004). Auch gibt es Hinweise darauf, dass die Aktivität im Nucleus caudatus mit den motivationalen Aspekten einer Aufgabe zusammenhängt. So wurde wiederum in einer Aufgabe, in der die Höhe einer zufällig gezogenen Karte (kleiner oder größer 5) geraten werden musste, Aktivität im Nucleus caudatus zwar auch in Durchgängen mit niedrigem motivationalen Kontext, in denen ein rein kognitives Feedback gegeben wurde, ob richtig oder falsch geraten wurde, beobachtet (was dafür spricht, dass auch rein kognitives Feedback im Striatum verarbeitet wird, siehe unten), jedoch änderte sich die Aktivität im Nucleus caudatus in Abhängigkeit von dem motivationalen Kontext, d.h. in Durchgängen mit monetärem Feedback war eine stärkere Aktivierung zu Beginn eines Durchgangs zu beobachten, und es zeigten sich stärkere Aktivitätsunterschiede zwischen positivem und negativem Feedback (Delgado, Stenger & Fiez, 2004).

Zusammenfassend spricht eine wachsende Anzahl an Befunden dafür, dass neben dem ventralen Striatum als Teil der motivationalen Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleife auch das dorsale Striatum und insbesondere der Nucleus caudatus eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung spielen. Haruno et al. (2004) ordnen dabei ihr Lernparadigma nicht als expliziten oder impliziten Test ein, da es als Aufgabe zum einfachen instrumentellen Konditionieren konstruiert wurde. Auch die abgestufte Verwendung eines probabilistischen Organisationsprinzips ist hier im Gegensatz zum probabilistischen Klassifikationslernen nicht als Versuch zu verstehen, der Aufgabe einen impliziten Charakter zu geben, sondern soll lediglich die Aufgabenschwierigkeit variieren. Die Autoren gehen sogar davon aus, dass „höhere kognitive Funktionen“ wie Rückschlüsse oder Hypothesentesten bezüglich der Aufgabenstruktur eher in den schwierigeren, d.h.

stärker probabilistischen Aufgaben eine Rolle spielten als in den Aufgaben mit den einfachen Zusammenhängen.

Wenn das mesostriatale System für die Verarbeitung von Belohnungen eine besondere Rolle spielt, stellt sich die Frage, wie diese Verarbeitung aussieht, wenn die Funktionsweise der entsprechenden Hirnregionen gestört ist. Dazu wurde mittels fMRT die Verarbeitung von positiver symbolischer Verstärkung und Belohnung in Form von Geld an Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden untersucht (Kunig, Leenders, Martin-Solch, Missimer, Magyar & Schultz, 2000). Dabei zeigte sich ein Fehlen striataler Aktivierung bei Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden und stattdessen eine Aktivierung in bestimmten Arealen des Assoziationskortex‘ und des primär motorischen Kortex‘, die bei den Kontrollprobanden nicht beobachtet wurde. Die Autoren interpretierten dies im Sinne einer Kompensation des erkrankten dopaminergen mesostriatalen Systems durch kortikale Areale beim Verarbeiten von Feedback.

1.5.2 Bedeutung des Striatums für die Verarbeitung von Feedback beim probabilistischen Klassifikationslernen

Nachdem im letzten Abschnitt die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zum einfachen instrumentellen Konditionieren beschrieben wurden, sollen im Weiteren Ergebnisse zur Bedeutung des Striatums für das feedback-basierte Lernen dargestellt werden, die anhand des probabilistischen Klassifikationslernens gewonnen wurden. Die basale Aufgabenstruktur bei den beschriebenen Paradigmen zum instrumentellen Konditionieren und dem probabilistischen Klassifikationslernen unterscheidet sich dabei kaum: Ein Reiz wird vorgegeben, die Versuchsperson reagiert (in der Regel mit einer Entscheidung zwischen zwei Alternativen) und es folgt ein Feedback. Jedoch sind beim probabilistischen Klassifikationslernen die Stimuli zahlreicher und komplexer und auf komplexere Art mit den Konsequenzen verknüpft. Die Paradigmen stammen aus unterschiedlichen Traditionen: Die für das probabilistische Klassifikationslernen wichtige Unterscheidung zwischen implizitem und explizitem Lernen, also letztlich die Frage der Bewusstheit des Lernens, spielt bei den Paradigmen zum instrumentellen Lernen keine Rolle. Außerdem wurde in den bisher vorgestellten Paradigmen zum instrumentellen Konditionieren meist mit tatsächlichen Belohnungen in Form von Geld gearbeitet (also wenn auch kein primärer, so doch ein sekundärer Verstärker), während beim Kategorienlernen bzw. beim probabilistischen Klassifika-

tionslernen nur ein kognitives Feedback gegeben wird, ob die Entscheidung richtig oder falsch war. Die Belohnung bzw. Bestrafung ist in diesem Fall also in noch stärkerem Maße symbolisch und weniger direkt als bei der Verwendung von monetären Belohnungen und Bestrafungen. Jedoch ist die Verarbeitung von Vorhersagefehlern (reward prediction error) auch bei rein kognitivem Feedback mit dem ventralen Striatum/Nucleus accumbens verknüpft (Rodríguez, Aron & Poldrack, 2006).

Poldrack et al. (2001) verwendeten neben der klassischen, oben beschriebenen Version des „Wetter-Tests“, in der die Probanden in jedem Durchgang eine Entscheidung über die Zuordnung des Stimulussets zu einer der Kategorien treffen müssen und anschließend Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Entscheidung bekommen, eine zweite Version, in der die Verknüpfung zwischen Stimulusset und Kategorie als „paarassoziative“ Aufgabe (paired-associate task) gelernt wird, d.h. die Probanden bekommen in den Trainingsdurchgängen verschiedene korrekte Verknüpfungen gezeigt und sollen erst in den späteren Testdurchgängen selbst klassifizieren. Der Ablauf in beiden Versionen ist schematisch in Abbildung 7 dargestellt.

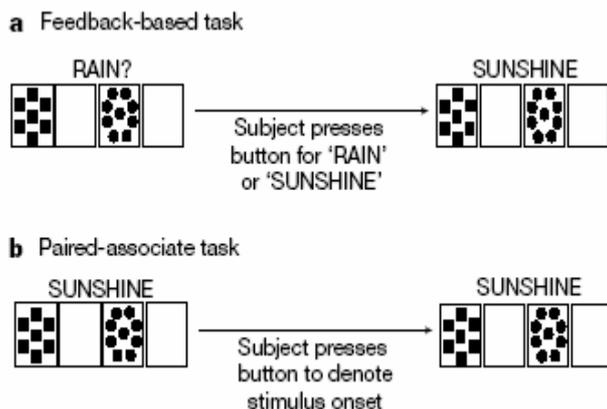


Abbildung 7. Nach Poldrack et al. (2001). Teil a zeigt die klassische, feedback-basierte Version des Wetter-Tests, bei dem die Probanden eine Entscheidung treffen mussten (Regen oder Sonne?) und danach eine Rückmeldung bekamen. Teil b zeigt die Anordnung beim paarassoziativen Lernen, bei dem die Probanden die korrekte Zuordnung gezeigt bekamen und nur eine Taste drücken sollten, um das Erscheinen des Stimulus zu bestätigen.

Die Autoren gehen dabei davon aus, dass die klassische, feedback-basierte Version des Tests einen impliziten Lernprozess auslöst, während das paarassoziative Lernen in einer deklarativen Art und Weise gelernt wird. Die Auswertung ihrer fMRT-Daten spricht dafür,

dass die unterschiedlichen Versionen des Tests tatsächlich unterschiedliche Gehirnstrukturen ansprechen: Während der feedback-basierten Version war das Striatum stärker aktiv, während des paarassoziativen Lernens der mediale Temporallappen. Darüber hinausgehend zeigten sich eine negative Korrelation und schnelle reziproke Wechsel der Aktivität dieser beiden Regionen im Lernverlauf, was von den Autoren im Sinne einer konkurrenten Interaktion der Systeme interpretiert wird (siehe auch Poldrack und Packard (2003)).

Durch die beiden unterschiedlichen Versionen des Tests werden also unterschiedliche Lernsysteme angesprochen. Die probabilistische Struktur des Tests, die häufig als wichtiger Faktor für die implizite Natur der Aufgabe angesehen wurde, ist jedoch in beiden Versionen des Tests gegeben, so dass die differentielle Aktivierung der Systeme mit anderen Faktoren zusammenhängen muss. In diesem Zusammenhang erscheint es fraglich, nur aufgrund des beschriebenen Unterschieds im Vorgehen davon auszugehen, dass die eine Version implizit und die andere explizit gelernt wurde. Wieso sollte nicht ein paarassoziatives Lernen implizit geschehen, wenn z.B. eine explizite Strategie aufgrund der probabilistischen Struktur wenig erfolgreich ist? Und wieso sollten beim feedback-basierten Lernen nicht explizite Prozesse eine Rolle spielen im Sinne eines expliziten Gedächtnisses für einzelne Assoziationen oder im Sinne eines expliziten Vorgangs des Hypothesen-Testens? An dieser Stelle wird nochmals deutlich, dass es sinnvoll sein könnte, bei der Frage nach der differentiellen Aktivierung der Lernsysteme die Unterscheidung zwischen implizitem und explizitem Lernen - die ja in der Vergangenheit sehr fruchtbar war und zur Entwicklung einer Vielzahl neuer Paradigmen geführt hat - in den Hintergrund zu rücken, da die Definition der Begriffe zu unscharf ist und zu viele unterschiedliche Aspekte damit verknüpft sind. Stattdessen wird zunehmend das probabilistische Klassifikationslernen als ein klassisches Paradigma, das von einer Aktivierung des striatalen Systems abhängt, im Rahmen von bildgebenden Studien dazu verwendet, die Bedeutung einzelner Regionen für einzelne Aspekte der Aufgabe - z.B. die Verarbeitung von Feedback - zu beleuchten. Die entsprechenden Hypothesen und die daraus entstandenen Ergebnisse ähneln sehr stark den bereits vorgestellten zum instrumentellen Konditionieren. Aron, Shohamy, Clark, Myers, Gluck und Poldrack (2004) untersuchten die Bedeutung des mesencephalischen dopaminergen Systems des Mittelhirns (mesencephalic dopaminergic system, MDS) (ventrale tegmentale Area und substantia nigra pars compacta, die insbesondere in das ventrale Striatum und den medialen und orbitalen frontalen Kortex projizieren) für den Aspekt des Lernens durch Feedback beim probabilistischen Klassifikationslernen und kommen zu dem

Schluss, dass dieses häufig auch als „Belohnungssystem“ bezeichnete System beim Verarbeiten von kognitivem Feedback (und der Bewertung von Unsicherheit) eine wichtige Rolle spielt. Rodriguez et al. (2006) zeigten in Übereinstimmung damit die besondere Bedeutung des ventralen Striatums/nucleus accumbens für die Verarbeitung von Vorhersagefehlern (prediction errors). Seger und Cincotta (2005) gehen in ihrer fMRT-Untersuchung der Frage nach, welche Teile des Striatums (und damit in Verbindung stehend, welche Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleifen) mit welchen Aspekten des probabilistischen Klassifikationslernens in Verbindung gebracht werden können. Sie konnten zeigen, dass die Aktivität in Körper und Schwanz des Nucleus caudatus (als Teil der visuellen Schleife) mit dem Lernerfolg, also der erfolgreichen Assoziation von Stimulus und Kategorie, zusammenhing: Die Aktivierung in dieser Region war bei korrekter Klassifikation größer als bei baseline-Durchgängen, die Aktivität stieg im Zeitverlauf des Lernens an und Probanden mit einer guten Lernleistung zeigten eine stärkere Aktivierung als Probanden mit einer schlechteren Lernleistung. Darüber hinaus zeigte auch das Putamen eine Aktivierung in Abhängigkeit vom Lernen, die der Aktivierung in Körper und Schwanz des Nucleus caudatus ähnelte. Die Verarbeitung von Feedback hingegen aktivierte den Kopf des Nucleus caudatus: Diese Region zeigte mehr Aktivität, wenn das Feedback positiv war, als wenn es negativ war. Weil die Verarbeitung von Feedback eine kognitive bzw. exekutive Leistung darstellt, erscheint die Aktivierung des Kopfes des Nucleus caudatus als Teil der kognitiven oder auch exekutiven Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleife sinnvoll. Dabei lässt sich ein Muster beobachten, dass der dorsale Teil des Kopfes des Nucleus caudatus nur dann auf Feedback bzw. Belohnung reagiert, wenn sie als Folge einer Handlung auftritt (Seger & Cincotta, 2005), was wiederum dafür spricht, dass das Striatum die Brücke schlägt zwischen den Konsequenzen des bisherigen Verhaltens und der Regulation des zukünftigen Verhaltens - dies stellt die basale Beschreibung eines Lernvorgangs dar. Neben dem Kopf des Nucleus caudatus rief die Verarbeitung von Feedback ebenfalls Aktivität im ventralen Striatum hervor.

Zusammengenommen stehen also die Ergebnisse der bildgebenden Studien zum probabilistischen Klassifikationslernen im Einklang mit den weiter oben beschriebenen bildgebenden Daten: Das Striatum spielt eine besondere Rolle beim feedback-basierten Lernen, insbesondere der Nucleus caudatus und das ventrale Striatum als Teile der visuellen, kognitiven und motivationalen Basalganglien-thalamo-kortikalen Schleifen. Tatsächlich zeichnen sich die weiter oben genannten Paradigmen zum impliziten Lernen wie das Lernen künstli-

cher Grammatiken, das Lernen prototypischer Punktmuster und das Lernen motorischer Sequenzen, bei denen keine Beteiligung des striatalen Systems gefunden wurde, dadurch aus, dass nicht über Feedback gelernt wird, sondern durch Beobachtung bzw. Übung. In diesem Zusammenhang ist es sehr interessant, dass Parkinsonpatienten gegenüber gesunden Kontrollprobanden eine Beeinträchtigung im Lernen künstlicher Grammatiken zeigen, wenn die Einordnung der Grammatiken wie beim probabilistischen Klassifikationslernen durch Feedback gelernt wird (Smith & McDowall, 2006). Shohamy et al. (2004a) untersuchten die Bedeutung des cortico-striatalen Systems für das feedback-basierte Lernen, indem sie - wie Poldrack et al. (2001), oben beschrieben - die Verknüpfung von Stimulusset und Kategorien einmal durch Feedback und einmal durch Beobachtung lernen ließen und dabei eine Gruppe von Patienten mit Morbus Parkinson verglichen mit einer Gruppe gematchter gesunder Kontrollprobanden. Die Parkinsonpatienten schnitten dabei in der feedback-basierten Version des Tests schlechter ab als die Kontrollprobanden, während es in der Beobachtungs-Version der Aufgabe keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen gab. Auch zeigte die Strategie-Analyse, dass sowohl Patienten als auch Probanden in beiden Bedingungen unterschiedliche Strategien verwendeten. Die Autoren sehen ihre Ergebnisse als Bestätigung dafür, dass ein intaktes cortico-striatales System für das feedback-basierte Lernen einer kognitiven Aufgabe notwendig sei, und bringen dies in Verbindung mit der Rolle des dopaminergen Systems im Mittelhirn als Belohnungssystem (reward system). Ob das Lernen in den beiden Bedingungen implizit oder deklarativ geschehe, lässt sich nach Ansicht der Autoren nicht festlegen, so dass sie diesen Aspekt in ihrer Interpretation beiseite lassen und sich auf den Aspekt der Verarbeitung von Feedback konzentrieren.

1.6 Ableitung der inhaltlichen Fragestellung - Parkinsonpatienten

Um diese Hypothese zu bestätigen und die Bedeutung des Striatums für das feedback-basierte Lernen weiter zu beleuchten, sollen in meiner Untersuchung Parkinsonpatienten und gesunde Kontrollprobanden mit einer feedback-basierten und einer Beobachtungs-version einer anderen Aufgabe zum Kategorienlernen untersucht werden. Dabei geht es um die Frage, ob die Ergebnisse von Shohamy et al. (2004a) auch außerhalb des Paradigmas des probabilistischen Klassifikationslernens gelten und sich somit auf verschiedene Arten des Kategorienlernens generalisieren lassen oder doch mit den spezifischen Eigenschaften

des probabilistischen Klassifikationslernens zusammenhängen. Ich verwendete dafür die Aufgabe zum perzeptuellen Kategorienlernen von Maddox und Filoteo (2001). Wie oben beschrieben, handelt es sich um eine Kategorisierungsaufgabe mit einer großen Anzahl verschiedener Stimuli (horizontale und vertikale Linien unterschiedlicher Länge, die zusammengefügt einen rechten Winkel bilden) und einer komplexen, nonlinearen Entscheidungsregel, die deswegen von den Autoren als prozedurale Aufgabe eingeordnet wird, aber keine probabilistische Struktur aufweist wie der „Wetter-Test“. Parkinsonpatienten sind in dieser Aufgabe gegenüber gesunden Kontrollprobanden beeinträchtigt. Ich konstruierte neben der klassischen feedback-basierten Version der Aufgabe eine Beobachtungsversion, wobei beide Versionen bis auf diesen Unterschied vollkommen identisch sind. In beiden Bedingungen unterscheiden sich nur die Lerndurchgänge voneinander: In der Feedback-Bedingung bekommen die Probanden einen Stimulus präsentiert, sollen eine Entscheidung über die Zugehörigkeit zu einer der beiden Kategorien treffen und bekommen anschließend eine Rückmeldung, ob ihre Entscheidung richtig oder falsch war. In der Beobachtungsbedingung bekommen die Probanden jeweils einen Stimulus mit der dazugehörigen korrekten Kategorie präsentiert und drücken anschließend eine Taste, um den nächsten Durchgang aufzurufen. Die Testdurchgänge sind in beiden Bedingungen identisch: Die Probanden bekommen einen Stimulus präsentiert und sollen durch Tastendruck die korrekte Kategorie angeben, danach erscheint ohne Rückmeldung der nächste Stimulus. Dabei ist es aufgrund der Vielzahl der Stimuli (100), die teilweise eine große Ähnlichkeit aufweisen, auch in der Beobachtungsbedingung unmöglich, sich die einzelnen Stimuli mit den dazugehörigen Kategorien explizit zu merken. Um zu explorieren, inwieweit beim Lernen der Kategorienzugehörigkeit regelbasiertes Lernen zum Einsatz kam, wurde zusätzlich eine Transferaufgabe entworfen, bei der dieselben Stimuli zum Einsatz kamen, diese aber um 90° gedreht waren. Eine regelbasierte Strategie sollte sich auch auf diese gedrehten Stimuli anwenden lassen, während ein stärker implizites, exemplar-spezifisches Vorgehen sich kaum auf die rotierten Stimuli übertragen lassen sollte (Dienes und Berry, 1997).

1.7 Alter und feedback-basiertes Lernen

Der normale Alterungsprozess ist mit einer Beeinträchtigung verschiedener kognitiver Funktionen verbunden, beispielsweise im episodischen Gedächtnis (Cabeza, Anderson, Locantore & McIntosh, 2002; Schacter, Savage, Alpert, Rauch & Albert, 1996), aber auch in den exekutiven Funktionen wie dem Arbeitsgedächtnis (Grady, McIntosh, Bookstein, Horwitz, Rapoport & Haxby, 1998) oder der kognitiven Flexibilität, insbesondere beim Aufgabenwechsel (task switching) (Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Kray & Lindenberger, 2000). Auch zeigte sich bei Älteren eine verminderte Fähigkeit, günstige Entscheidungen zu treffen, und eine geringere Risikobereitschaft (Deakin, Aitken, Robbins & Sahakian, 2004). Diese kognitiven Veränderungen sind auf verschiedene Faktoren, wie strukturelle, metabolische und vaskuläre Veränderungen, zurückzuführen. So wird heute davon ausgegangen, dass insbesondere eine Funktionsbeeinträchtigung des Frontallappens für viele der altersbedingten Defizite verantwortlich ist, wobei sich eine stärkere Beeinträchtigung bei solchen Aufgaben fand, die mit dem dorsolateral präfrontalen Kortex assoziiert werden (Arbeitsgedächtnis, exekutive Kontrolle), als bei solchen, die mit dem ventromedialen präfrontalen Kortex assoziiert werden (Verarbeitung von emotionalen Reizen, soziale Entscheidungsprozesse) (MacPherson, Phillips & Della Sala, 2002). Darüber hinaus wird der normale Alterungsprozess von einer zunehmenden Verringerung verschiedener Neurotransmitter, insbesondere Dopamin, begleitet (Kaasinen, Kempainen, Nagren, Helenius, Kurki & Rinne, 2002; Kaasinen, Vilkmann, Hietala, Nagren, Helenius, Olsson, Farde & Rinne, 2000). Weiterhin kommt es im Alter zu einer Volumenverringerung (Jernigan, Archibald, Fennema-Notestine, Gamst, Stout, Bonner & Hesselink, 2001; Sarazin et al., 2002) sowie einer Funktionsbeeinträchtigung (van Dyck, Seibyl, Malison, Laruelle, Zoghbi, Baldwin & Innis, 2002; Volkow, Gur, Wang, Fowler, Moberg, Ding, Hitzemann, Smith & Logan, 1998) des Nucleus caudatus.

In einer Aufgabe zum regelbasierten Kategorienlernen fand sich in Übereinstimmung mit den Befunden zu den frontal assoziierten exekutiven Funktionen eine beeinträchtigte Leistung von älteren Probanden im Gegensatz zu jüngeren insbesondere bei solchen Aufgaben mit einer komplexen Regel und erhöhten Ansprüchen an exekutive Kontrollfunktionen (Racine, Barch, Braver & Noelle, 2006). Insgesamt wurden immer wieder Beeinträchtigungen älterer Probanden beim feedback-basierten Lernen von Kategorien gefunden, z.B.

im Wisconsin Card Sorting Test (WCST) (Filoteo & Maddox, 2004), allerdings ist in diesem Test das eigentliche Kategorienlernen mit dem Aufgabenwechsel konfundiert. Unter Verwendung des - ebenfalls feedback-basierten - perzeptuellen Klassifikationslernens ergaben sich Hinweise darauf, dass ältere Probanden sowohl im regelbasierten als auch im impliziten „information integration“-Kategorienlernen gegenüber jüngeren Probanden beeinträchtigt sind, wobei die Einschränkungen im impliziten Kategorienlernen stärker ausgeprägt zu sein scheinen als im regelbasierten (Ashby et al., 2003; Filoteo & Maddox, 2004). Dazu im Widerspruch steht der Befund von Price (2005), die eine unbeeinträchtigte Leistung älterer Probanden in einer „information integration“-Aufgabe zum Kategorienlernen fand. Ähnlich widersprüchlich sind die Ergebnisse zum probabilistischen Klassifikationslernen im Alter: In einer Untersuchung fand sich eine Beeinträchtigung älterer Probanden gegenüber jüngeren im „Wetter-Test“ (Price, 2005), während beide Gruppen in einer anderen Untersuchung gleich gut lernten (Fera, Weickert, Goldberg, Tessitore, Hariri, Das, Lee, Zolnick, Meeter, Myers, Gluck, Weinberger & Mattay, 2005). In dieser zweiten Untersuchung wurden während des Lernens zusätzlich fMRT-Daten erhoben, und es zeigte sich eine geringere Aktivierung des Nucleus caudatus und präfrontaler Regionen und eine stärkere Aktivierung parietaler Regionen bei den älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren. Auch war die Lernleistung bei den jüngeren Teilnehmern mit der Aktivierung des Nucleus caudatus und präfrontaler Regionen korreliert, während bei älteren die Lernleistung mit präfrontalen und parietalen Regionen zusammenhing. Zusammengefasst interpretieren die Autoren dies dahingehend, dass eine defizitäre Verarbeitung im Nucleus caudatus und in präfrontalen Regionen möglicherweise durch parietale Regionen kompensiert wird und es in der Folge zu einer äquivalenten Lernleistung in beiden Gruppen kommt.

Zusammenfassend sind diese kognitiven Auffälligkeiten möglicherweise zumindest zum Teil auf eine Beeinträchtigung des feedback-basierten Lernens zurückzuführen, da, wie oben beschrieben, in den relevanten Strukturen (dopaminerges System, Striatum) ebenfalls altersbedingte Veränderungen zu beobachten sind. Marschner, Mell, Wartenburger, Villringer, Reischies und Heekeren (2005) formulieren in einem Übersichtsartikel die Hypothese, dass der Verlust kognitiver und behavioraler Flexibilität im Alter mit strukturellen und funktionellen Veränderungen des Belohnungssystems zusammenhängt. Dies führe zu Beeinträchtigungen bei der Verarbeitung von Belohnungen, beim Lernen von Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen und bei der Anpassung bestehender Verknüpfungen an

neue Situationen. In einer fMRT-Studie mit einem probabilistischen “object reversal task”, bei dem sich ändernde probabilistische Verknüpfungen zwischen bestimmten Reizen und Belohnungen gelernt werden mussten, zeigten ältere Probanden eine geringere Lernleistung als jüngere sowie eine geringere Aktivierung im rechten ventralen Striatum bei der Verarbeitung von Feedback (Marschner et al., 2005), was von den Autoren als Beleg für ihre Hypothese gewertet wird.

1.8 Ableitung der inhaltlichen Fragestellung - Ältere

Aufgrund der Überlegungen aus dem vorigen Abschnitt sollen neben den älteren gesunden Probanden, die als Kontrollprobanden für die Parkinsonpatienten fungieren, auch jüngere gesunde Probanden untersucht werden, um den Alterseffekt beim feedback-basierten Lernen zusätzlich zu untersuchen. Aufgrund der altersabhängigen striatalen Beeinträchtigung und der Veränderungen im dopaminergen System sollte bei den älteren Probanden dasselbe Muster an Beeinträchtigungen auftreten wie bei Parkinsonpatienten, allerdings in milderer Form.

1.9 Zusammenfassung - Inhaltliche Hypothesen

In der feedback-basierten Lernbedingung der Aufgabe wird eine beeinträchtigte Leistung der Parkinsonpatienten gegenüber den gesunden Kontrollprobanden sowie eine schlechtere Leistung der älteren gegenüber den jüngeren gesunden Probanden erwartet. In der Beobachtungsbedingung sollten sich keine Unterschiede im Lernen zwischen den drei Gruppen zeigen.

2 Methodischer Teil

2.1 Stichprobe

Das einzige Einschlusskriterium für die Teilnahme an der Studie war das Vorliegen eines idiopathischen Morbus Parkinson. Es wurden 31 Patienten mit idiopathischem Morbus Parkinson aus der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel, rekrutiert, davon 17 männliche und 14 weibliche Patienten. Die Diagnose eines Morbus Parkinson wurde in allen Fällen von einem Facharzt für Neurologie gestellt, und in allen Fällen waren die „brain-bank“-Kriterien für das Vorliegen eines idiopathischen Morbus Parkinson erfüllt (Hughes, Daniel, Kilford & Lees, 1992). Bei allen Patienten lag ein asymmetrisches akinetisches Syndrom und ein therapeutisches Ansprechen auf L-Dopa vor, um eine falsche Diagnose, insbesondere eine Verwechslung mit einem atypischen Parkinson-Syndrom, zu vermeiden. Es handelt sich um eine heterogene Gruppe in einem beginnenden bis zu einem fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung, auf der Skala der motorischen Beeinträchtigung von Hoehn und Yahr (Hoehn & Yahr, 2001) liegen die Patienten in Stadium 1 bis hin zu Stadium 3. Die motorische Symptomatik wurde mit der Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS III) von einem Assistenzarzt der Klinik für Neurologie erfasst. Zur Zeit der Testung waren alle Patienten stabil auf eine Anti-Parkinson-Medikation eingestellt. Anhand eines Umrechnungsschemas wurde die tägliche Levodopa-äquivalente Medikamentendosis bestimmt, sie betrug im Mittel 785 mg mit einer Standardabweichung von 539 mg. Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren folgende:

- Vorliegen einer anderen neurologischen Erkrankung aktuell oder in der Vorgeschichte wie z.B. Schlaganfall oder Schädel-Hirn-Trauma
- Vorliegen einer psychiatrischen Erkrankung aktuell oder in der Vorgeschichte. Dabei wurde insbesondere das Bestehen einer depressiven Erkrankung ausgeschlossen, bei keinem der Patienten war eine depressive Episode diagnostiziert worden. Es wurde das Beck Depressionsinventar (BDI) (Beck, Ward, Mendelson, Mock & Erbaugh, 1961) durchgeführt (siehe Anhang A), Ausschlusskriterium war ein Wert größer oder gleich 20. Dieser Wert wurde etwas höher angesetzt, als es sonst zum Ausschluss einer klinischen Depression üblich ist, weil einige der Items

aus dem BDI bei Patienten mit Morbus Parkinson in starkem Maße zutreffen, wie z.B. Schlafstörungen (aufgrund der Unbeweglichkeit) oder Sorgen über körperliche Erkrankungen.

- Vorliegen einer Demenz. Zu diesem Zweck wurde die Mattis Demenz Skala (Mattis, 1988) durchgeführt (siehe Anhang B). Es wurden nur Patienten in die Studie aufgenommen, die einen Wert oberhalb des Grenzwerts für das Vorliegen einer dementiellen Entwicklung (130 Punkte) erreichten.
- Aktuell Behandlung des Patienten mit tiefer Hirnstimulation (Implantation eines Schrittmachers in den Nucleus subthalamicus, um diesen mittels elektrischer Stimulation funktionell „auszuschalten“ und so in die kortiko-subkortikale Regulation einzugreifen, um die motorischen Symptome zu verbessern).
- Eine Medikation, die einen Einfluss auf kognitive Funktionen haben könnte (Benzodiazepine, Anticholinergika und einige Antidepressive und Neuroleptika, die Müdigkeit hervorrufen und die Konzentration beeinträchtigen).
- Sonstige Faktoren, die die Durchführung der Untersuchung beeinträchtigen könnten wie z.B. verminderte Sehkraft, Hörminderung oder eine so starke Einschränkung der motorischen Fertigkeiten, dass der Patient den motorischen Anforderungen der Untersuchung (Zeichnen in der Mattis-Demenz-Skala, Drücken einer Taste) nicht nachkommen kann.

Zusätzlich wurden 30 (17 männlich, 13 weiblich) ältere gesunde Probanden als Kontrollgruppe für die Parkinsonpatienten rekrutiert sowie 20 (9 männlich, 11 weiblich) jüngere gesunde Kontrollprobanden (mittleres Alter 22,5 Jahre). Beide Gruppen wurden ebenso wie die Parkinsonpatienten in der Regel persönlich angesprochen, ob sie bereit wären, an der Untersuchung teilzunehmen. Die Parkinsonpatienten wurden im Rahmen eines stationären Aufenthaltes oder einer ambulanten Sprechstunde für Bewegungsstörungen in der Klinik für Neurologie rekrutiert, die älteren gesunden Probanden waren entweder Angehörige der Patienten und wurden ebenfalls in der Klinik angesprochen oder waren mit der Autorin persönlich bekannt und wurden über diesen Weg rekrutiert. Bei den jüngeren gesunden Probanden handelte es sich um Personal der Klinik für Neurologie (Medizinstudenten im Praktischen Jahr, Pflegeschüler, andere Mitarbeiter).

Alle Teilnehmer wurden im persönlichen Gespräch über die Ziele und den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt und bekamen diese Informationen zusätzlich schriftlich ausgehändigt (Anhänge D und E). Alle Probanden erklärten sich freiwillig bereit, an der Untersuchung teilzunehmen, und unterzeichneten eine entsprechende Einwilligungserklärung (Anhang F).

Für die beiden Gruppen der gesunden Kontrollprobanden galten dieselben Ausschlusskriterien wie für die Gruppe der Parkinsonpatienten, insbesondere bezüglich neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen. Die erhobenen demographischen und krankheitsbezogenen Daten sowie die Ergebnisse der genannten Verfahren (BDI, Mattis-Demenz-Skala) für die Parkinsonpatienten und die gesunden Kontrollprobanden sind in Tabelle 1 aufgeführt.

2.2 Durchführung

Nach der Aufklärung der Studienteilnehmer und nachdem sie die Einverständniserklärung unterschrieben hatten, wurden folgende Tests und Fragebogen in der Reihenfolge wie hier angegeben durchgeführt:

2.2.1 Beck Depressionsinventar (BDI)

Das Beck Depressionsinventar (Beck et al., 1961) (Anhang A) ist ein sehr verbreitetes Instrument zur Erfassung depressiver Symptome. Es handelt sich um einen Selbstbeurteilungsfragebogen mit 21 Items und 4 abgestuften Aussagen pro Item, in denen depressive Symptome wie Niedergeschlagenheit, Interessenverlust, Insuffizienzgefühle, Suizidgedanken oder Schlafstörungen erfasst werden. Die Probanden füllten den Fragebogen nach einer kurzen Instruktion selbständig aus, konnten aber Fragen dazu stellen. Die Auswertung des Fragebogens besteht in der Bildung des Summenwertes über alle Items. Ab einem Wert größer als 20 ist laut Handbuch von einer „moderaten Depression“ auszugehen, darunter von einer „leichten Depression“. Es wurden Patienten mit einem Wert größer als 20 von der Teilnahme an der Untersuchung ausgeschlossen. Dieser Wert ist relativ hoch gewählt (schließt also die Patienten mit einer „leichten Depression“ ein), da Parkinsonpatienten durch die Natur der Fragen leichter auf einen höheren Wert kommen (Beispiele im Abschnitt 2.1), ohne dass eine klinisch relevante Depression vorliegt. Weiterhin diente der

Summenwert des BDI dazu, die Patienten- und Probandengruppen hinsichtlich ihrer Depressivität zu vergleichen, da dies einen Einfluss auf kognitive Leistungen und somit auch auf die Leistung in der Kategorisierungsaufgabe haben könnte (siehe Tabelle 2).

2.2.2 Mehrfachwahl-Wortschatztest B (MWT-B)

Der MWT-B (Anhang C) (Lehrl, Triebig & Fischer, 1995) ist ein Instrument zur Abschätzung des prämorbidem Intelligenzniveaus und wurde eingesetzt, um dies bei den Patienten- und Probandengruppen zu vergleichen. Da bei Morbus Parkinson verschiedene kognitive Defizite auftreten können (siehe Abschnitt 1.2.2.3), ist der Einsatz eines klassischen Intelligenztests nicht sinnvoll. Die Idee des MWT-B besteht darin, dass der Wortschatz als Maß der kristallinen Intelligenz von einer krankheitsbedingten Verschlechterung der kognitiven Funktionen nicht betroffen ist und somit zur Abschätzung des prämorbidem Intelligenzniveaus genutzt werden kann, da die allgemeine Intelligenz einen Einfluss auf die Entwicklung des Wortschatzes hat (Lehrl et al., 1995). Allerdings ist ein deutlicher Einfluss des Alters auf die Leistung zu erwarten, weil der Wortschatz mit dem Alter anwächst. Aus diesem Grund wurde der MWT-B nur bei der Patientengruppe und der im Durchschnitt gleich alten Kontrollgruppe eingesetzt, um einen Vergleich des Intelligenzniveaus vorzunehmen, bei der Gruppe der jüngeren Kontrollprobanden wurde hingegen auf den Einsatz verzichtet. Der Test besteht aus 37 Reihen mit je 5 Wörtern, von denen 4 Phantasiewörter sind und nur eins ein tatsächlich existierendes Wort. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, in jeder Reihe das tatsächliche Wort anzustreichen, und wird nach einer kurzen Instruktion selbständig ausgeführt. Die Items sind dabei in aufsteigendem Schwierigkeitsgrad geordnet. In der Auswertung wird ein Summenwert gebildet, der die Anzahl der richtigen Lösungen widerspiegelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

2.2.3 Mattis Demenz Skala (MDS)

Die MDS (Mattis, 1988) (Anhang B) ist ein verbreitetes Instrument zur Diagnostik eines dementiellen Prozesses und wurde zum Ausschluss einer Demenz und zum Vergleich der Gruppen bei den Parkinsonpatienten und den älteren gesunden Kontrollprobanden eingesetzt. Die Untertests der MDS sind zu folgenden Bereichen gruppiert:

- Aufmerksamkeit und Konzentration (Zahlen nachsprechen vorwärts und rückwärts, Befolgen von einfachen Befehlen bzw. Nachahmen, Lesen einer Wortliste, einfache selektive Aufmerksamkeit mit Buchstaben und Figuren)
- Initiierung und Perseveration (Wortflüssigkeit und Reproduzieren von Lauten, Bewegungen und gezeichneten Luria-Reihen)
- Konstruktion (Abzeichnen von einfachen geometrischen Figuren)
- Kombinatorik (sprachliches und nichtsprachliches Abstrahieren, Benennen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden)
- Gedächtnis (zeitliche und örtliche Orientierung, aktuelles Allgemeinwissen, Behalten von Worten, Sätzen und Figuren über einige Sekunden bis Minuten)

Bei der Auswertung werden ein Gesamtwert sowie Summenwerte für die einzelnen Bereiche gebildet. Bei einem Gesamtwert unter 130 Punkten besteht der Verdacht auf das Vorliegen einer Demenz, deswegen wurde ein Summenwert unter 130 Punkten als Ausschlusskriterium formuliert. Zum Vergleich der Parkinsonpatienten mit der Gruppe der gesunden älteren Kontrollprobanden siehe Tabelle 2.

2.2.4 Computergestütztes Paradigma zum Kategorienlernen

2.2.4.1 Generierung der Stimuli

Um die Stimuli für das Kategorienlernen zu generieren, verwendeten wir das Vorgehen, das in der Arbeit von Maddox und Filoteo (2001) für das „nonlinear integration experiment“ beschrieben ist. Dieses funktioniert folgendermaßen: Es werden zwei spezifische bivariate Normalverteilungen mit bestimmten Verteilungsparametern definiert, jeweils eine für eine der beiden Kategorien. Die Normalverteilungen sind bivariat, weil die Stimuli, die daraus hervorgehen, auf zwei Dimensionen variieren: Sie bestehen aus jeweils einer horizontalen und einer vertikalen Linie unterschiedlicher Länge, die an der oberen linken Ecke zusammengefügt sind und einen rechten Winkel bilden (siehe Abbildung 8B).

Aus den bivariaten Normalverteilungen werden nun jeweils zufällig hundert Wertpaare (x,y) gezogen und die x - bzw. y -Werte definieren die Länge der horizontalen bzw. der vertikalen Linie. Die in unserer Untersuchung verwendete Stimulusstruktur ist in Abbildung

8A dargestellt. Auf der x-Achse ist die Länge der horizontalen Linie abgetragen, auf der y-Achse die Länge der vertikalen Linie. Jeder Stimulus kann dann als Punkt in diesem Koordinatensystem dargestellt werden, und die beiden unterschiedlichen Kategorien werden durch unterschiedliche Symbole dargestellt (siehe Abbildung 8A, Kreuze stehen für Kategorie A und Punkte für Kategorie B).

In meiner Untersuchung verwendete ich für die Normalverteilungen die Verteilungsparameter (Erwartungswerte, Varianzen und Kovarianzen) aus dem nonlinearen “information integration”-Paradigma von Maddox und Filoteo (2001), veränderte jedoch die Erwartungswerte beider Kategorien auf der x-Achse, indem ich sie um 100 erhöhte. Die verwendeten Verteilungsparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Verteilungsparameter (Erwartungswerte, Varianzen und Kovarianzen) der bivariaten Normalverteilungen, die die beiden Kategorien A und B spezifizieren									
Kategorie A					Kategorie B				
μ_x	μ_y	σ_x	σ_y	COV_{xy}	μ_x	μ_y	σ_x	σ_y	COV_{xy}
150	250	33	33	1,052	165	265	46	46	0

Ohne die „Verschiebung“ der Stimuli beider Kategorien auf der x-Achse zeichnen sich die Stimuli der Kategorie A dadurch aus, dass die horizontale und die vertikale Linie ungefähr gleich lang sind. Das war in der Studie von Maddox und Filoteo (2001) der Fall. Dies führt dazu, dass sich eine relativ einfache explizite Regel über die Kategorienzugehörigkeit formulieren lässt: Wenn die horizontale und die vertikale Linie ungefähr gleich lang sind, wähle Kategorie A, ansonsten wähle Kategorie B. Schaut man sich die Ergebnisse der älteren Kontrollgruppe in dem Experiment von Maddox und Filoteo (2001) an, so fällt auf, dass diese Gruppe nach nur 40 Durchgängen schon eine sehr gute (zwischen 80 und 90% richtige Klassifikationen) und nach 300 Durchgängen eine fast perfekte (90% richtige Klassifikationen) Leistung zeigte. Dieser sehr frühe fast vollständige Lernerfolg deutet darauf hin, dass die oben genannte einfache explizite Regel in der Gruppe der Kontrollprobanden zur Kategorisierung herangezogen wurde. Da es jedoch in dieser Untersuchung das Ziel war, eine Aufgabe mit einem stärker impliziten Charakter zu untersuchen, wurden die Stimuli auf der x-Achse verschoben, so dass die Stimuli aus Kategorie A nicht länger

gleichlange Seiten auswiesen. Dadurch wird die Beziehung zwischen dem Längenverhältnis der Linien und der Kategorienzugehörigkeit komplizierter, und eine einfache verbale Beschreibung der Kategorien ist nicht mehr möglich. Aus den beiden Normalverteilungen mit den so veränderten Verteilungsparametern wurden nun zufällig jeweils hundert Wertpaare gezogen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Mittelwerte, Varianzen und Kovarianzen der hundert gezogenen Wertpaare von den vorher definierten nicht zu stark abweichen (Mittelwerte ± 4 , Varianzen ± 2).

Durch das Verschieben der Stimuli auf der x-Achse wird der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe erhöht. Um einen relevanten Lerneffekt zu ermöglichen und zu verhindern, dass die Aufgabe zu schwierig zu lernen ist, wurden fünf Stimuli der Kategorie B, bei denen es eine Überschneidung mit den Stimuli der Kategorie A gab, ausgewählt und im Koordinatensystem so verschoben, dass sie nicht mehr im Bereich der Kategorie-A-Stimuli lagen. Dies diente dazu, die Ähnlichkeit der Stimuli aus beiden Kategorien etwas zu reduzieren und so die Kategorien besser unterscheidbar zu machen. Gleichwohl blieb eine gewisse Überschneidung der beiden Kategorien bestehen (fünf Stimuli der Kategorie B liegen im Bereich der A-Stimuli, siehe Abbildung 8A), um ein explizites, stark regelbasiertes Lernen der Kategorienstruktur zu verhindern.

Der Test wurde mit dem Programm „Microsoft Visual Basic“ programmiert.

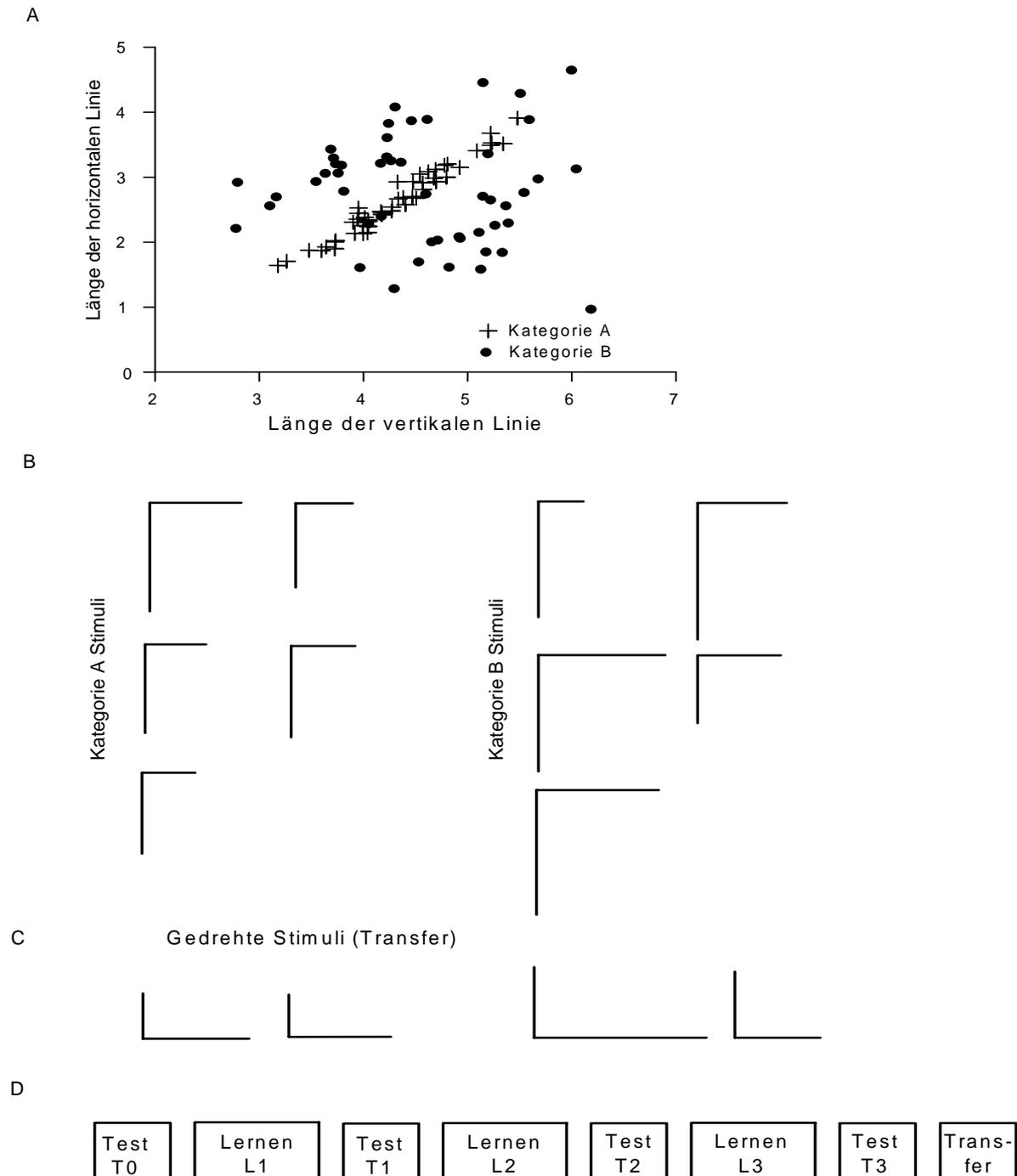


Abbildung 8. Im Teil A ist die Stimulusstruktur der vorliegenden Untersuchung dargestellt. Auf der x-Achse ist die Länge der vertikalen Linie, auf der y-Achse die Länge der horizontalen Linie jedes Stimulus abgetragen, Kreuze stehen für Stimuli der Kategorie A, Punkte für Stimuli der Kategorie B. In Teil B sind einige Beispiele für Stimuli aus beiden Kategorien dargestellt. Teil C zeigt Beispiele für die um 90° gedrehten Stimuli aus dem Transferblock. Teil D zeigt die Abfolge der Lern-, Test- und Transferblöcke bei der Kategorisierungsaufgabe.

2.2.4.2 Durchführung

Die gesamte Untersuchung fand in einem ruhigen Raum statt, die computergestützten Teile der Untersuchung wurden auf einem Studienlaptop durchgeführt. Auf der Tastatur, die für den Test verwendet wurde, wurden alle bis auf die folgenden Tasten entfernt: auf der linken Seite eine große mit einem "A" markierte Taste, auf der rechten Seite eine große mit einem "B" markierte Taste, in der Mitte zwischen den beiden eine kleinere Taste, die gelb markiert war. Sowohl die Parkinsonpatienten als auch die älteren und jüngeren Kontrollprobanden wurden randomisiert auf die beiden Bedingungen des Kategorienlernens aufgeteilt.

2.2.4.2.1 Feedback-basierte Bedingung

Vor dem Beginn des Tests wurden den Teilnehmern folgende Instruktionen auf dem Bildschirm gezeigt und vorgelesen:

„Bei dieser Aufgabe werden Sie lernen, Figuren zu sortieren. Hier sehen Sie zwei Beispiele: *(Ein Beispiel aus jeder Kategorie ist abgebildet)*. Sie sollen in jedem Durchgang entscheiden, ob die gezeigte Figur zu Kategorie A oder zu Kategorie B gehört. Drücken Sie die Taste „A“, wenn Sie meinen, dass die Figur in Kategorie A gehört, und drücken Sie die Taste „B“, wenn Sie meinen, dass die Figur in Kategorie B gehört. Sie bekommen nach jeder Entscheidung eine Rückmeldung, ob Sie korrekt sortiert haben. Wenn Sie richtig entschieden haben, ertönt ein heller Ton (Tusch), bei einer falschen Zuordnung ertönt ein dunkler Ton (Hupe) *(Die beiden Töne werden eingespielt)*. Ihnen stehen für die Entscheidung 3 Sekunden zur Verfügung. Benötigen Sie länger, so werden Sie auf die Notwendigkeit, eine Entscheidung zu treffen, hingewiesen *(Es erscheint ein Balken mit dem Schriftzug: „Entscheiden Sie jetzt!“)*. Bei manchen Durchgängen bekommen Sie jedoch keine Rückmeldung über Ihre Entscheidung. Der Test startet mit einer Reihe von Durchgängen, in denen Sie keine Rückmeldung bekommen. **Verlassen Sie sich bei Ihrer Entscheidung auf Ihr Gefühl und Ihre Intuition!**“

Der eigentliche Test bestand dann aus Lerndurchgängen und Testdurchgängen, die sich folgendermaßen abwechselten (siehe Abbildung 8D): Zu Beginn wurde ein Block mit 50 Testdurchgängen dargeboten, um eine „baseline“-Messung vorzunehmen, als noch kein Lernen stattgefunden hatte. Dann wechselten sich 3 Blöcke mit je 100 Lerndurchgängen und 3 Blöcke mit je 50 Testdurchgängen ab.

In den Lernblöcken wurden die 100 Stimuli in einer zufälligen Reihenfolge dargeboten, in den Testblöcken wurden 50 aus den 100 Stimuli zufällig ausgewählt und ebenfalls in einer zufälligen Reihenfolge dargeboten. Eine Beschränkung bestand dabei darin, dass die fünf Stimuli aus Kategorie B, die im Bereich der A-Stimuli liegen, nur in den Lerndurchgängen, aber nicht in den Testdurchgängen gezeigt wurden, da sie selbst bei vollständigem Wissen um die Kategorienstruktur nicht richtig zugeordnet werden können. Wegen dieser nicht vorhandenen Trennschärfe wurden sie aus den Testdurchgängen entfernt. Sie blieben aber in den Lerndurchgängen erhalten, um einen expliziten, regelbasierten Zugang beim Lernen zu erschweren.

In den Lerndurchgängen wurde je ein Stimulus in der Mitte des Bildschirms dargeboten, und die Buchstaben „A“ und „B“ erschienen in der linken bzw. rechten unteren Ecke des Bildschirms (passend zu den entsprechenden Tasten auf der Tastatur). Der Proband drückte dann in Abhängigkeit von seiner Entscheidung über die Kategorienzugehörigkeit eine der beiden Tasten und bekam direkt im Anschluss ein akustisches Feedback, ob die Entscheidung korrekt war (wie oben in den Instruktionen beschrieben). Wenn der Proband länger als 3 Sekunden wartete, bevor er eine der beiden Tasten drückte, erschien auf dem Bildschirm der Satz „Bitte entscheiden Sie jetzt“, und der Stimulus verschwand vom Bildschirm. Dies diente dazu, eine möglichst rasche Entscheidung sicherzustellen und zu verhindern, dass die Probanden die Stimuli eine längere Zeit betrachten und sie sich einprägen bzw. länger über eine möglicherweise zugrunde liegende Regel nachdenken konnten. Das Intervall zwischen dem Ende des akustischen Feedbacks und dem Beginn des nächsten Durchgangs betrug 500 Millisekunden. Die Testdurchgänge liefen genauso ab wie die Lerndurchgänge mit dem einzigen Unterschied, dass kein Feedback gegeben wurde. Auch in diesen Durchgängen wurde bei Überschreiten der 3-Sekunden-Grenze der Schriftzug „Bitte entscheiden Sie sich“ eingeblendet, im Gegensatz zu den Lerndurchgängen blieb der jeweilige Stimulus jedoch weiterhin sichtbar. Der Wechsel zwischen den Lern- und den Testblöcken wurde den Probanden mit einem Satz am Bildschirm angekündigt („Jetzt folgen Durchgänge ohne Feedback“ bzw. „Jetzt folgen Durchgänge mit Feedback“).

Nach dem letzten Testblock folgt ein weiterer Block mit 50 Transferdurchgängen. Der einzige Unterschied zu den Testblöcken besteht darin, dass alle Stimuli um 90° rotiert sind (siehe Abbildung 8C). Vor dem Transferblock erscheint auf dem Bildschirm folgende Instruktion:

„Bei den nun folgenden Durchgängen sind die Figuren so um 90° gedreht, dass sie nun unten links statt wie bisher oben links eine Ecke bilden. Davon abgesehen sind aber die Figuren und auch die Kategorien dieselben wie bisher. Sortieren Sie nun erneut die Figuren in die Kategorien A und B.“

Nach den Transferdurchgängen wurde den Probanden abschließend noch schriftlich folgende Frage gestellt: „Glauben Sie, dass die Zuordnung der Kategorien zu den Stimuli einer bestimmten Regel folgte?“ Die Probanden sollten dann „ja“ oder „nein“ ankreuzen und bei einer „Ja“-Antwort die von ihnen angenommene Regel schriftlich formulieren.

2.2.4.2.2 Beobachtungsbedingung

In den Lerndurchgängen der Beobachtungsbedingung wurden die Stimuli ebenfalls in der Mitte des Bildschirms präsentiert, zusätzlich war ein roter Pfeil zu sehen, der entweder auf das „A“ in der linken unteren Ecke oder auf das „B“ in der rechten unteren Ecke wies und so die Kategorienzugehörigkeit des Stimulus anzeigte. Die Instruktion für die Beobachtungsbedingung lautete ganz ähnlich wie die schon beschriebene für die Feedback-Bedingung, zumal die Testdurchgänge in beiden Bedingungen identisch abliefen. Für die Lerndurchgänge bekamen die Probanden die Instruktion, zu versuchen, anhand der gezeigten Beispiele (jeweils ein Stimulus und die dazugehörige Kategorie) die korrekte Zuordnung der Stimuli zu den Kategorien zu lernen. Sie hatten in diesen Durchgängen nur die Aufgabe, sich die gezeigten Beispiele anzusehen und jeweils die mittlere gelbe Taste zu drücken, um den nächsten Durchgang aufzurufen. Wie in der Feedback-Bedingung gab es eine Zeitgrenze von drei Sekunden. Wenn der Proband diese Grenze überschritt, erschien der Schriftzug „Bitte fahren Sie fort!“, und der entsprechende Stimulus verschwand vom Bildschirm. Der Ablauf der Testdurchgänge war in beiden Bedingungen identisch, für die Beschreibung siehe voriger Abschnitt. Die weiteren Einzelheiten und der Ablauf der Transferbedingung und der Strategiefrage waren ebenfalls in beiden Bedingungen identisch, so dass auch hier auf die Beschreibung im vorigen Abschnitt verwiesen werden kann.

2.2.5 Untertest „Längenschätzung“ aus der computergestützten Testbatterie zur Erfassung visuell-räumlicher Wahrnehmungsleistungen

Weiterhin wurde der Untertest „Längenschätzung“ der computergestützten Testbatterie zur Erfassung visuell-räumlicher Wahrnehmungsleistungen (erschieden beim Verlag MedCom, München) (Kerkhoff & Marquardt, 1995) durchgeführt, um auszuschließen, dass mögliche Gruppenunterschiede zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden auf unterschiedliche visuelle Perzeptionsleistungen und ein mögliches Defizit der Parkinsonpatienten bei der Längenschätzung von Linien zurückzuführen ist. In dieser Untersuchung werden auf dem Bildschirm nebeneinander zwei horizontale Balken unterschiedlicher Länge präsentiert. Der rechte Balken ist 10 Millimeter dick und 60 Millimeter lang, der linke ist 10 Millimeter dick und 40 Millimeter lang. Der linke Balken kann nun durch Tastendruck in Schritten von einem Millimeter verlängert werden, Ziel ist die gleiche Länge beider Balken. Der Testleiter macht während der Testung nach den Vorgaben des Probanden die Eingaben. Weiterhin wird die Aufgabe analog mit zwei vertikalen Balken durchgeführt, wobei die Länge des oberen Balkens so angepasst werden soll, dass er genauso lang ist wie der untere. Es wurden fünf Durchgänge mit den horizontalen und fünf Durchgänge mit den vertikalen Balken durchgeführt und folgende Auswertungsparameter bestimmt:

- PSG - Punkt subjektiver Gleichheit: Der Median aller in diesem Versuch eingestellten Längen
- CE - Konstanter Fehler: Die Abweichung des PSG vom Zielwert. Für die Auswertung wurde der Betrag dieses Werts verwendet, da es keine Rolle spielt, ob die Teilnehmer die Längen über- oder unterschätzen.
- IU - Unsicherheitsintervall: Der Abstand zwischen dem Median sämtlicher unteren als „gleich“ angegebenen Werte und dem Median sämtlicher oberen noch als „Gleich“ angegebenen Werte, d.h. das Intervall, in dem beide Balken als gleich lang eingeschätzt werden.

Die Parameter CE und IU wurden dann genutzt, um die Leistungen der einzelnen Gruppen in der Visuoperzeption und der Längenschätzung zu vergleichen (siehe Abschnitt 3).

3 Ergebnisse

3.1 Vergleich von Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden

3.1.1 Demographische Daten und Begleitdiagnostik

In Tabelle 2 sind die klinischen Daten zur Charakterisierung der Patienten sowie die demographischen Daten und die Ergebnisse der Begleitdiagnostik für die Patienten und die älteren Kontrollprobanden angegeben. Da bei vielen der abhängigen Variablen nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann (Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung), wurde zum Vergleich der Mittelwerte beider Gruppen der nonparametrische Test nach Mann und Whitney gewählt. Es wurde zweiseitig getestet, da es keine Hypothesen über gerichtete Unterschiede zwischen beiden Gruppen gibt. Die p-Werte der jeweiligen U-Tests sind ebenfalls in Tabelle 1 angegeben. Legt man ein Signifikanzniveau von $\alpha = .10$ zugrunde (Da die Hypothese, die geprüft werden soll, *keinen* Unterschied zwischen beiden Gruppen annimmt, wird das α -Niveau von dem sonst üblichen Wert von $.05$ auf $.01$ angehoben, um die Wahrscheinlichkeit, doch vorhandene Unterschiede zu übersehen, zu verringern.), so kann man davon ausgehen, dass es in den folgenden Variablen keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen gibt: Alter, Bildungsstand, prämorbid Intelligenz, Gesamtwert der Mattis-Demenz-Skala (sowie Unterbereiche Initiierung und Perseveration, Konstruktion, Kombinatorik und Gedächtnis), konstanter Fehler und Unsicherheitsintervall bei der horizontalen Längenschätzung und Unsicherheitsintervall bei der vertikalen Längenschätzung. Hingegen zeigte sich bei den Parkinsonpatienten ein signifikant höherer Wert im Beck Depressioninventar als bei den Kontrollprobanden. Es muss also davon ausgegangen werden, dass bei den Patienten depressive Symptome in stärkerem Ausmaß vorhanden waren als bei den Probanden, wenn auch das Vorliegen einer klinisch relevanten Depression ausgeschlossen wurde. Es gibt mehrere Untersuchungen, die zeigen, dass subsyndromale depressive Zustände bei Parkinsonpatienten häufig sind (Marsh, McDonald, Cummings & Ravina, 2006). Darüber hinaus ist es einleuchtend, dass die Patienten im Beck Depressioninventar einen höheren Wert erzielen, erstens, weil sie möglicherweise durch die Erkrankung auch insgesamt psychisch stärker belastet sind, und zwei-

tens, weil der Fragebogen verschiedene Symptome abfragt, die bei den Patienten auch durch die körperliche Symptomatik bedingt sein können (z.B. Schlafstörungen aufgrund der Akinese und Rigidität) oder bei Menschen mit einer ernsten körperlichen Erkrankung wie dem Morbus Parkinson fast automatisch gegeben sind (z.B. Sorgen über körperliche Gesundheit). Trotzdem ist es nicht ausgeschlossen, dass die erhöhte Depressivität in der Gruppe der Parkinsonpatienten eine verminderte kognitive Leistungsfähigkeit mit sich bringt und somit auch die Leistungen im Kategorienlernen beeinträchtigt. Dies wird bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sein. Allerdings müsste sich eine solche Beeinträchtigung in beiden Lernbedingungen gleichermaßen zeigen, während in den weiter oben formulierten Hypothesen davon ausgegangen wird, dass sich ein Unterschied zwischen beiden Gruppen nur in der Feedback-Bedingung zeigt, die Leistung sich aber in der Beobachtungsbedingung nicht unterscheidet. Wenn sich diese Hypothese bestätigen ließe, ist ein Einfluss der unterschiedlichen Depressivität in beiden Gruppen auszuschließen.

Weiterhin zeigte sich aufgrund der sehr geringen Standardabweichung ein signifikanter Unterschied zwischen Patienten und Probanden im Bereich „Aufmerksamkeit und Konzentration“ der Mattis-Demenz-Skala, allerdings mit einer schlechteren Leistung der Probanden, so dass das Ergebnis für die Interpretation der Ergebnisse zum Kategorienlernen eine untergeordnete Rolle spielt. In den Tests zur Längenschätzung zeigte sich in einem Maß eine schlechtere Leistung der Parkinsonpatienten gegenüber den gesunden Kontrollprobanden, nämlich im konstanten Fehler bei der vertikalen Längenschätzung. Angesichts der durchschnittlichen Ergebnisse in den anderen drei Maßen (konstanter Fehler bei der horizontalen Längenschätzung und Unsicherheitsbereiche horizontal und vertikal) erscheint es zwar unwahrscheinlich, dass dies tatsächlich ein Defizit der Parkinsonpatienten in der Längenschätzung widerspiegelt, andererseits kann dies jedoch nicht ausgeschlossen werden, so dass es bei der Interpretation der Ergebnisse zum Kategorienlernen berücksichtigt werden muss.

Tabelle 2. Klinische und demographische Charakterisierung der Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden und Ergebnisse der Begleitdiagnostik. Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm eine Standardabweichung. Zusätzlich ist der p-Wert für einen Mittelwertsvergleich mit einem zweiseitigen U-Test nach Mann und Whitney angegeben.

	Patienten	Probanden	p
N	31	30	-
Alter (in Jahren)	61.2 \pm 9.1	62.6 \pm 8.8	.994
Geschlecht (männl./weibl.)	17/14	17/13	-
Krankheitsdauer	9.54 \pm 6.65	-	-
UPDRS III	19.77 \pm 11.25	-	-
Hoehn und Yahr	2.32 \pm 0.52	-	-
Bildungsjahre	12.77 \pm 3.90	13.83 \pm 3.64	.176
MWT-B	31.64 \pm 3.63	32.36 \pm 3.06	.518
BDI Gesamtscore	9.67 \pm 4.44	5.03 \pm 4.23	.000
MDRS			
Gesamtscore	142.2 \pm 1.4	141.8 \pm 1.8	.354
Aufmerksamkeit/Konzentration	36.6 \pm 0.5	36.3 \pm 0.8	.089
Initiierung/Perseveration	36.8 \pm 0.4	36.8 \pm 0.9	.273
Konstruktion	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	-
Kombinatorik	38.9 \pm 0.2	38.8 \pm 0.4	.595
Gedächtnis	23.8 \pm 1.1	23.8 \pm 0.9	.723
VSWin Längenschätzung			
CE horizontal	2.04 \pm 1.56	1.73 \pm 1.64	.324
IU horizontal	3.06 \pm 1.71	2.43 \pm 1.13	.193
CE vertikal	3.06 \pm 1.96	2.08 \pm 1.41	.054
IU vertikal	2.87 \pm 1.56	2.96 \pm 1.24	.771

In Tabelle 3 sind zusätzlich die demographischen Daten und die Ergebnisse der Begleitdiagnostik getrennt für die Versuchspersonen (also Patienten und Kontrollprobanden) in der Feedback- und der Beobachtungsbedingung dargestellt. Um sicherzugehen, dass die randomisierte Zuordnung zu den Bedingungen wie beabsichtigt einen systematischen Unterschied zwischen beiden Gruppen verhindert hat, wurden auch hier zum Vergleich der Mittelwerte beider Gruppen der nonparametrische Test nach Mann und Whitney durchgeführt. Es ergaben sich in keiner der Variablen signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Tabelle 3. Klinische und demographische Charakterisierung der Parkinsonpatienten und älteren Probanden getrennt für beide Bedingungen. Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm eine Standardabweichung. Zusätzlich ist der p-Wert für einen Mittelwertsvergleich mit einem zweiseitigen U-Test nach Mann und Whitney angegeben.			
	Feedback	Beobachtung	p
N	30	30	-
Alter (in Jahren)	62.5 \pm 9.2	61.2 \pm 8.7	.539
Geschlecht (männl./weibl.)	16/14	18/12	-
Krankheitsdauer	9.11 \pm 6.45	10.03 \pm 7.03	.677
UPDRS III	17.33 \pm 7.59	22.36 \pm 14.07	.417
Hoehn und Yahr	2.28 \pm 0.60	2.36 \pm 0.44	.805
Bildungsjahre	13.42 \pm 3.63	13.14 \pm 3.91	.574
MWT-B	31.84 \pm 3.35	32.16 \pm 3.40	.738
BDI Gesamtscore	8.12 \pm 5.35	6.54 \pm 4.33	.290
MDRS			
Gesamtscore	142.1 \pm 1.8	142.0 \pm 1.3	.398
Aufmerksamkeit/Konzentration	36.5 \pm 0.6	36.4 \pm 0.7	.558
Initiierung/Perseveration	36.7 \pm 0.9	36.8 \pm 0.4	.725
Konstruktion	6.0 \pm 0.0	6.0 \pm 0.0	-

Kombinatorik	38.9 ± 0.3	38.9 ± 0.3	.649
Gedächtnis	23.9 ± 1.1	23.7 ± 0.8	.377
VSWin Längenschätzung			
CE horizontal	0.27 ± 2.86	0.53 ± 1.99	.862
IU horizontal	2.83 ± 1.48	2.66 ± 1.49	.631
CE vertikal	1.72 ± 3.02	0.63 ± 2.72	.112
IU vertikal	3.09 ± 1.32	2.73 ± 1.48	.320

3.1.2 Kategorienlernen

3.1.2.1 Testblöcke

In Abbildung 9 ist der Lernverlauf der Parkinsonpatienten und der älteren Kontrollprobanden über die vier Testblöcke dargestellt, aufgetragen ist jeweils der prozentuale Anteil an richtigen Antworten. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit wurden alle Ergebnisse in einer Abbildung zusammengefasst, Abbildung 9 zeigt also zusätzlich die Leistungen beider Gruppen in den Lernblöcken der Feedback-Bedingung sowie in den Transferdurchgängen. Zunächst wurden getrennt für die beiden Gruppen und die beiden Bedingungen Ein-Stichproben-t-Tests der Leistung im ersten Testblock durchgeführt, um zu beurteilen, ob die Anzahl der richtigen Antworten signifikant von der Zufallsleistung (50% richtige) abweicht. Im ersten Testblock würde man eine Leistung auf Zufallsniveau erwarten, da die Teilnehmer noch keine Gelegenheit hatten, die korrekten Zuordnungen zu lernen. Im ersten Testblock war die Leistung der Parkinsonpatienten in der Feedback-Bedingung ($T = -0.061, p = .952$) und in der Beobachtungsbedingung ($T = -0.404, p = .693$) nicht signifikant von der Zufallsleistung verschieden, ebenso die Leistung der älteren Kontrollprobanden in der Beobachtungsbedingung ($T = -1.004, p = .332$). Jedoch unterschied sich die Leistung der älteren Kontrollprobanden in der Feedback-Bedingung signifikant von der Zufallsleistung ($T = -2.249, p = .041$). Sie lag, wie man in Abbildung 9 sehen kann, unter der Zufallsleistung. Aus diesem Grund wurde in den nachfolgenden Analysen darauf verzichtet, die Ergebnisse des ersten Testblocks aufzunehmen, denn durch eine „baseline- Leistung“ unter Zufallsniveau würden die Ergebnisse ver-

fälscht, da sich eine Differenz in der Leistung zwischen dem ersten Testblock und den übrigen Blöcken zeigen könnte, die jedoch nicht auf einen tatsächlichen Lernzuwachs zurückzuführen ist, sondern auf die sehr schlechte Leistung in der „baseline“-Messung.

Weiterhin wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Block“ (zweiter, dritter und vierter Testblock) und den Gruppenfaktoren „Bedingung“ (Feedback-Bedingung versus Beobachtungsbedingung) und „Gruppe“ (Parkinsonpatienten versus gesunde Kontrollprobanden) durchgeführt. Es ergab sich ein signifikanter Effekt für den Faktor „Bedingung“ ($F = 7.545, p = .008$). Mit einem Blick auf Abbildung 9 lässt sich feststellen, dass die Leistung in der Beobachtungsbedingung besser war als in der Feedback-Bedingung. Darüber hinaus zeigten sich keine weiteren signifikanten Haupteffekte, d.h. es zeigte sich über beide Gruppen hinweg kein signifikanter Lernzuwachs zwischen den Blöcken, und es ergab sich ebenfalls kein Unterschied in der Leistung zwischen beiden Gruppen. Weiterhin ergab sich auch für die Interaktionseffekte kein signifikantes Ergebnis.

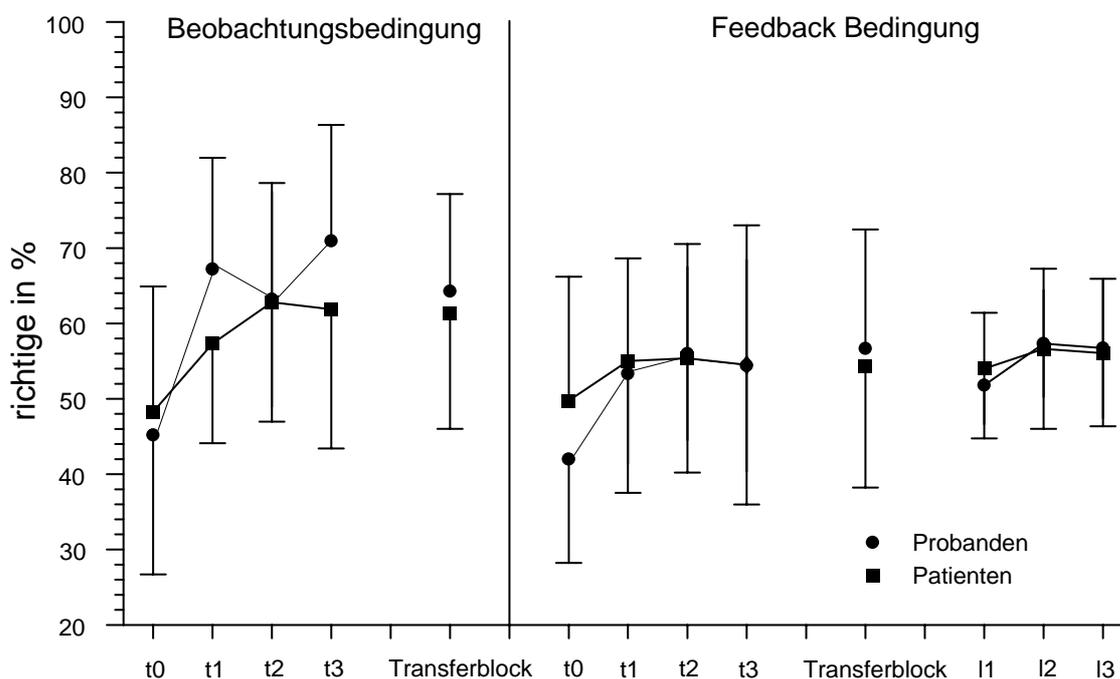


Abbildung 9. Ergebnisse des Kategorienlernens für Parkinsonpatienten und gesunde Kontrollprobanden. Gezeigt wird jeweils die mittlere Anzahl der richtigen Entscheidungen in Prozent \pm eine Standardabweichung. Aufgetragen sind die Ergebnisse in den vier Testblöcken (t0 bis t3) und dem Transferblock getrennt für die Feedback-Bedingung und die Beobachtungsbedingung sowie für die drei Lernblöcke (l1 bis l3) in der Feedback-Bedingung.

Um festzustellen, ob sich die Kategorisierungsleistung im letzten Testblock signifikant von der Zufallsleistung unterschied, wurden wiederum getrennt für beide Gruppen und beide Bedingungen Ein-Stichproben-t-Tests durchgeführt. Die Leistung der Parkinsonpatienten im letzten Testblock unterschied sich signifikant von der Zufallsleistung in der Beobachtungsbedingung ($T = 2.492$, $p = .026$), aber nicht in der Feedback-Bedingung ($T = 0.972$, $p = .347$). Bei den älteren Kontrollprobanden zeigte sich dasselbe Bild: Die Leistung lag signifikant über dem Zufallsniveau in der Beobachtungsbedingung ($T = 5.266$, $p = .000$), aber nicht in der Feedback-Bedingung ($T = 1.213$, $p = .245$). Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sich der vorhergesagte Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Bedingung nicht bestätigen ließ. Der für die Parkinsonpatienten vorhergesagte Leistungsunterschied zwischen beiden Bedingungen zeigte sich zwar, jedoch nicht nur in der Gruppe der Parkinsonpatienten, sondern auch in der Gruppe der älteren Kontrollprobanden. Beide Gruppen zeigten keinerlei Lernleistung in der Feedback-Bedingung, dieser fehlende Lernzuwachs in der Feedback-Bedingung ist auch der Grund dafür, dass die Lernleistung über beide Gruppen nicht signifikant wurde, d.h. es keinen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Block“ gab. Genauso zeigte sich in der Beobachtungsbedingung kein Leistungsunterschied zwischen beiden Gruppen, hier erreichten beide einen signifikanten Lernzuwachs.

3.1.2.2 Lernblöcke

Weiterhin wurde die Kategorisierungsleistung in den Lernblöcken der Feedback-Bedingung mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Block“ und dem Gruppenfaktor „Gruppe“ ausgewertet (in der Beobachtungsbedingung wurde ja in den Lerndurchgängen keine Kategorisierungsleistung erbracht). Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Block“ ($F = 3.462$, $p = .038$), der Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ sowie der Interaktionseffekt zwischen beiden Faktoren blieben jedoch unter dem Signifikanzniveau. Im letzten Lernblock lag die Leistung sowohl der Parkinsonpatienten ($T = 2.497$, $p = .025$) als auch der älteren Kontrollprobanden ($T = 2.797$, $p = .014$) signifikant über dem Zufallsniveau. Im Gegensatz zu der schon dargestellten Leistung in den Testblöcken der Feedback-Bedingung zeigte sich also in den Lernblöcken derselben Bedingung ein signifikanter Lerneffekt. Mögliche Gründe für diesen erst einmal unerwarteten Unterschied werden in Abschnitt 4 diskutiert. Darüber hinaus

bestätigt die Analyse der Leistung in den Lernblöcken den Befund einer fehlenden Dissoziation zwischen Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden.

Es liegen also widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf die Feedback-Bedingung vor: Die Daten aus den Testblöcken sprechen dafür, dass ein Lernen in der Feedback-Bedingung in beiden Gruppen nicht möglich ist, während sich in den Lerndurchgängen ein signifikanter Lerneffekt zeigte. In der Beobachtungsbedingung zeigte sich ein signifikanter Lerneffekt in beiden Gruppen, und in keiner der Bedingungen zeigte sich ein Unterschied in der Kategorisierungsleistung zwischen Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden.

3.1.2.3 Transferblock und Regelfrage

Die Ergebnisse des Blocks mit den Transferdurchgängen sind ebenfalls in Abbildung 9 dargestellt. Sowohl die Parkinsonpatienten als auch die Kontrollprobanden zeigten in den Transferdurchgängen nach der Beobachtungsbedingung eine Kategorisierungsleistung signifikant über der Zufallsleistung ($T = 2.87$, $p = .012$ für die Kontrollprobanden, $T = 4.28$, $p = 0.001$ für die Parkinsonpatienten). In den Transferdurchgängen nach der Feedback-Bedingung zeigten jedoch beide Gruppen eine Leistung, die nicht signifikant von der Zufallsleistung abwich. Dies ist nicht anders zu erwarten, wenn man sich vor Augen führt, dass in dieser Bedingung zuvor kein Lernen stattgefunden hat.

Weiterhin wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Transfer“ (Leistung im letzten Testblock und Leistung im Transferblock) und den Gruppenfaktoren „Bedingung“ und „Gruppe“ durchgeführt, um die Transferleistung vom letzten Testblock zum Transferblock in beiden Gruppen und Bedingungen zu bestimmen. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Bedingung“ ($F = 7.069$, $p = .010$), jedoch keine weiteren signifikanten Haupt- oder Interaktionseffekte. Der signifikante Haupteffekt spiegelt wiederum den beschriebenen Leistungsunterschied zwischen Feedback-Bedingung und Beobachtungsbedingung wider. Dass der Haupteffekt für den Faktor „Transfer“ nicht signifikant geworden ist, spricht dafür, dass die Teilnehmer ihr Wissen über die Kategorienzugehörigkeit in vollem Umfang auf die gedrehten Figuren übertragen konnten, denn sie zeigten in den Transferdurchgängen eine ebenso gute Leistung wie im letzten Testblock. Wiederum gab es keine Gruppenunterschiede.

Die anschließend gestellte Frage ("Glauben Sie, dass die Zuordnung der Figuren zu den Kategorien einer bestimmten Regel folgte?") beantworteten zwei Patienten nicht, von den restlichen Patienten antworteten 19 (65.5%) „ja“ und 10 (34.5%) „nein“. In der Gruppe der älteren Kontrollprobanden antworteten 24 Teilnehmer (80%) „ja“ und 6 (20%) „nein“. Ein Chi²-Test hatte zum Ergebnis, dass Patienten und Probanden sich in ihren Antworten nicht signifikant unterschieden (Chi² = 1.565, p = .211). Auf die Antworten auf die offene Frage nach der zugrunde liegenden Regel wird im Abschnitt „Strategieauswertung“ eingegangen.

3.2 Vergleich der älteren und jüngeren gesunden Kontrollprobanden

3.2.1 Demographische Daten und Begleitdiagnostik

Tabelle 4 zeigt die demographischen Daten und die Ergebnisse der Begleitdiagnostik der jüngeren und älteren Kontrollprobanden. Entsprechend dem Vorgehen bei den Parkinsonpatienten und den älteren Kontrollprobanden wurden die Ergebnisse der beiden Gruppen in den relevanten Variablen mit einem zweiseitigen U-Test nach Mann und Whitney und einem definierten Signifikanzniveau von $\alpha = .01$ verglichen. Es zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede in der Anzahl der Bildungsjahre sowie in den Tests zur Längenschätzung. Wie bei dem Vergleich zwischen Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden auch zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied im Beck Depressionsinventar mit einem erhöhten Wert der älteren im Vergleich zu den jüngeren Probanden. Da jedoch auch die Summenwerte der älteren Probanden alle im unteren Bereich (Range 0 bis 12) der Skala liegen, ist dieser Befund wohl nur auf im Alter leicht erhöhte Neigung zu depressiven Stimmungslagen oder höhere Werte in einzelnen Problembereichen, die das Beck Depressionsinventar abfragt (Beschäftigung mit körperlichen Beschwerden, Libidoverlust, Schlafstörungen), zurückzuführen. Somit ist diesem Ergebnis keine große Bedeutung beizumessen.

Tabelle 4. Demographische Charakterisierung und Ergebnisse der Begleitdiagnostik für ältere und jüngere Probanden. Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm eine Standardabweichung. Zusätzlich ist der p-Wert für einen Mittelwertsvergleich mit einem zweiseitigen U-Test nach Mann und Whitney angegeben.

	Jüngere Probanden	Ältere Probanden	P
N	20	30	-
Alter (in Jahren)	22.5 \pm 3.3	62.6 \pm 8.8	-
Geschlecht (männl./weibl.)	9/11	17/13	-
Bildungsjahre	13.38 \pm 2.79	13.83 \pm 3.64	.597
BDI Gesamtscore	2.75 \pm 2.99	5.03 \pm 4.23	.041
VSWin Längenschätzung			
CE horizontal	1.67 \pm 1.78	1.73 \pm 1.64	.825
IU horizontal	2.90 \pm 1.71	2.43 \pm 1.13	.518
CE vertikal	2.05 \pm 1.69	2.08 \pm 1.41	.697
IU vertikal	3.45 \pm 2.76	2.96 \pm 1.24	.992

Tabelle 5 gibt zusätzlich noch einen Überblick über die demographischen Daten und die Ergebnisse der Begleitdiagnostik der jüngeren Probanden getrennt für die Feedback-Bedingung und die Beobachtungsbedingung, um auch hier sicherzustellen, dass die randomisierte Zuteilung zu den Gruppen erfolgreich war und sich kein systematischer Unterschied zwischen beiden Gruppen zeigt (die Daten der Älteren sind ja schon in Tabelle 3 enthalten). Es zeigte sich in einer der Variablen ein signifikanter Unterschied, nämlich in der Abweichung vom Zielwert bei der vertikalen Längenschätzung, hier waren die Probanden in der Feedback-Bedingung schlechter als die in der Beobachtungsbedingung (d.h. die Abweichung war größer). Dies wird bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sein.

Tabelle 5. Demographische Charakterisierung und Ergebnisse der Begleitdiagnostik der jüngeren Probanden getrennt für die Feedback- und die Beobachtungsbedingung. Angegeben sind jeweils der Mittelwert \pm eine Standardabweichung. Zusätzlich ist der p-Wert für einen Mittelwertsvergleich mit einem zweiseitigen U-Test nach Mann und Whitney angegeben.

	Feedback	Beobachtung	p
N	10	10	-
Alter (in Jahren)	22.50 \pm 3.2	22.6 \pm 3.5	.971
Geschlecht (männl./weibl.)	5/5	4/6	-
Bildungsjahre	13.40 \pm 2.54	13.35 \pm 3.14	.912
BDI Gesamtscore	2.90 \pm 2.92	2.60 \pm 3.20	.684
VSWin Längenschätzung			
CE horizontal	1.65 \pm 2.02	1.70 \pm 1.61	.684
IU horizontal	2.90 \pm 1.91	2.90 \pm 1.59	.853
CE vertikal	2.95 \pm 1.67	1.15 \pm 1.20	.007
IU vertikal	3.70 \pm 3.77	3.20 \pm 1.31	.739

3.2.2 Kategorienlernen

3.2.2.1 Testblöcke

Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der Testblöcke, der Lernblöcke und der Transferblöcke für die jüngeren und älteren Probanden in beiden Bedingungen, aufgetragen ist wiederum jeweils der prozentuale Anteil an richtigen Antworten. Die folgenden Analysen wurden entsprechend denen im vorigen Abschnitt bei dem Vergleich zwischen den Parkinsonpatienten und den älteren Kontrollprobanden durchgeführt.

Die Ein-Stichproben-t-Tests für den ersten Testblock zeigten nicht signifikant vom Zufallsniveau abweichende Leistungen der jüngeren Probanden in beiden Bedingungen (die Ergebnisse der älteren Probanden und die sich daraus ergebenden Konsequenzen wurden im vorigen Abschnitt dargestellt).

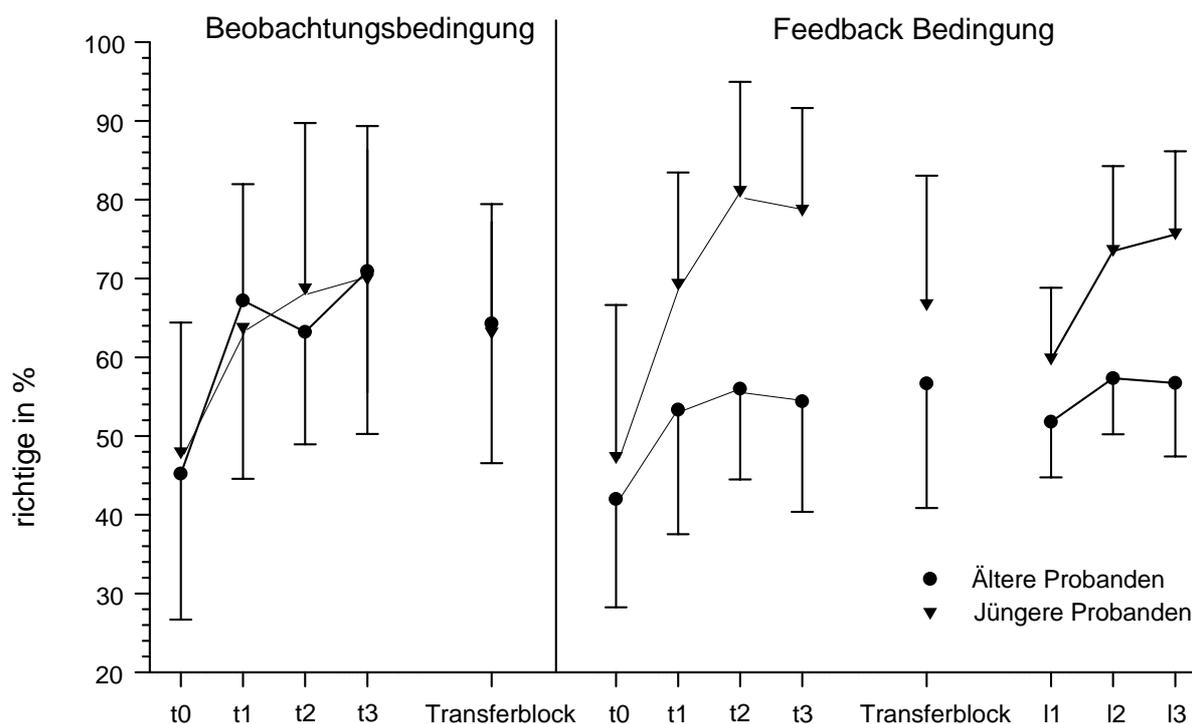


Abbildung 10. Ergebnisse des Kategorienlernens für ältere und jüngere Probanden. Gezeigt wird jeweils die mittlere Anzahl der richtigen Entscheidungen in Prozent \pm eine Standardabweichung. Aufgetragen sind die Ergebnisse in den vier Testblöcken (t0 bis t3) und dem Transferblock sowie für die drei Lernblöcke (l1 bis l3) in der Feedback-Bedingung.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Block“ (zweiter, dritter und vierter Testblock) und den Gruppenfaktoren „Bedingung“ und „Gruppe“ ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Block“ ($F = 3.785, p = .026$), einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ ($F = 7.980, p = .007$) und einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Gruppe“ und „Bedingung“ ($F = 7.659, p = .008$), die anderen Effekte waren nicht signifikant. Über beide Gruppen und Bedingungen hinweg zeigte sich also ein signifikanter Lerneffekt, außerdem zeigten die jüngeren Probanden insgesamt eine bessere Leistung als die älteren. Der signifikante Interaktionseffekt kommt dadurch zustande, dass die jüngeren Probanden in der Feedback-Bedingung eine deutlich bessere Leistung zeigten als die älteren Probanden, während sich die Leistung beider Gruppen in der Beobachtungsbedingung kaum unterschied (siehe Abbildung 10). Auch die Ergebnisse der Ein-Stichproben-t-Tests passen dazu: Die jüngeren Probanden

zeigten im letzten Testblock sowohl in der Beobachtungsbedingung ($T = 3.205$, $p = .011$) als auch in der Feedback-Bedingung ($T = 6.940$, $p = .000$) eine signifikant über dem Zufallsniveau liegende Leistung. Anders als die Ergebnisse der Parkinsonpatienten und der älteren Kontrollprobanden legen die Daten der jüngeren Probanden nahe, dass die Kategorisierungsaufgabe sich auch in der Feedback-Bedingung durchaus lernen lässt, die Gruppe der jüngeren Probanden schneidet in dieser Bedingung sogar besser ab als in der Beobachtungsbedingung. Zusammenfassend zeigte sich bei den jüngeren Probanden also in beiden Bedingungen eine signifikante Lernleistung, während sich bei den älteren Probanden nur in der Beobachtungsbedingung eine Lernleistung zeigte, nicht aber in der Feedback-Bedingung.

3.2.2.2 Lernblöcke

Wiederum wurde auch eine zweifaktorielle Varianzanalyse der Lernblöcke in der Feedback-Bedingung gerechnet. Die Leistung in den Lernblöcken ist ebenfalls in Abbildung 10 dargestellt. Es ergab sich ein signifikanter Effekt für den Messwiederholungsfaktor „Block“ ($F = 22.323$, $p = .000$), ein signifikanter Effekt für den Faktor „Gruppe“ ($F = 22.644$, $p = .000$) und ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Block“ und „Gruppe“ ($F = 5.398$, $p = .008$). Die Leistung sowohl der älteren als auch der jüngeren Probanden im letzten Lernblock lag signifikant oberhalb des Zufallsniveaus (ältere: $T = 2.797$, $p = .014$; jüngere: $T = 7.678$, $p = .000$). Diese Ergebnisse spiegeln diejenigen aus den Testblöcken wider: Die jüngeren Probanden zeigen im Vergleich zu den älteren eine bessere Leistung in der Feedback-Bedingung.

3.2.2.3 Transferblock und Regelfrage

Die Leistung im Transferblock ist ebenfalls in Abbildung 10 dargestellt. Um zu überprüfen, inwieweit die Teilnehmer ihr in den Lernblöcken erworbenes Wissen auf die gedrehten Stimuli übertragen konnten, wurde genauso vorgegangen wie beim Vergleich zwischen den Parkinsonpatienten und den älteren Kontrollprobanden. Die jüngeren Probanden zeigten im Transferblock eine Leistung signifikant oberhalb des Zufallsniveaus sowohl in der Beobachtungsbedingung ($T = 2.50$, $p = .034$) als auch in der Feedback-Bedingung ($T = 3.67$, $p = .005$). Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit dem Messwiederholungsfaktor „Transfer“ (letzter Testblock und Transferblock) und den Gruppenfaktoren „Bedin-

gung” und „Gruppe” durchgeführt, hier sind insbesondere der Haupteffekt für den Faktor „Transfer“ sowie die Interaktionseffekte, die den Faktor „Transfer“ beinhalten, von Bedeutung, da bei den Effekten, die den Faktor „Transfer“ nicht beinhalten, die Ergebnisse aus dem letzten Testblock und dem Transferblock zusammengenommen sind und somit nur die Ergebnisse der Auswertung der Testblöcke wiederholen. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Transfer” ($F = 10.062$, $p = .003$) sowie ein Trend für eine bedeutsame Interaktion zwischen dem Faktor „Transfer“ und dem Faktor „Gruppe“ ($F = 3.876$, $p = .055$) und ein Trend für eine bedeutsame Dreifachinteraktion zwischen „Transfer“, „Gruppe“ und „Bedingung“ ($F = 3.734$, $p = .059$). Dies lässt sich so interpretieren, dass beide Gruppen zusammengenommen nicht in der Lage waren, ihr in den Lernblöcken erworbenes Wissen in vollem Umfang auf die Transferdurchgänge mit den gedrehten Stimuli zu übertragen. Betrachtet man die Trends für die bedeutsamen Interaktionen in Kombination mit Abbildung 10, so wird deutlich, dass dies insbesondere für die jüngeren Probanden und insbesondere in der Feedback-Bedingung der Fall war. Allerdings muss man dabei berücksichtigen, dass die jüngeren Probanden in der Feedback-Bedingung auch von einem deutlich höheren Niveau kommen, die Leistung im letzten Testblock liegt bei ca. 80% richtigen Antworten.

In der anschließenden Regelfrage antworteten 14 der jüngeren Probanden (70%) mit „ja” und 6 (30%) mit „nein”. Ältere und jüngere Probanden unterschieden sich in ihrem Antwortverhalten nicht signifikant ($\chi^2 = .658$, $p = .417$).

3.3 Explorative Analyse des strategischen Vorgehens

Die Ergebnisse der Transferblöcke deuten darauf hin, dass die Teilnehmer beim Kategorienlernen gut dazu in der Lage waren, ihr Wissen auf die gedrehten Stimuli zu übertragen (die älteren Kontrollprobanden und die Parkinsonpatienten in einem größeren Ausmaß als die jüngeren Probanden). Dies spricht wiederum dafür, dass weniger die Zuordnung einzelner Stimuli zu den Kategorien gelernt wurde, sondern dass die Teilnehmer durch das Feedback bzw. das Beobachten der korrekten Zuordnungen bestimmte Regeln über die Kategorienzugehörigkeit abstrahierten und diese später beim Kategorisieren anwendeten. Tatsächlich antwortete die Mehrheit der Versuchspersonen auf die „Regelfrage“ mit „ja”. Von denjenigen, die glaubten, eine Regel für die Kategorienzugehörigkeit entdeckt zu haben, wurde die anschließende offene Frage, in der die Teilnehmer gebeten wurden, diese

Regel zu beschreiben, in sehr unterschiedlicher Weise beantwortet. Einige Beispiele lauten folgendermaßen:

- „Wenn beide Linien ungefähr gleich lang oder sehr unterschiedlich lang waren, war es Kategorie B, sonst Kategorie A“
- „Bei Kategorie A hatten die Linien ein bestimmtes Längenverhältnis zueinander“
- „Wenn beide Linien ungefähr gleich lang waren, war es B, sonst A“
- „Die kleinen Figuren gehörten zu Kategorie A, die großen zu B“
- Das Verhältnis beider Seiten zueinander war entscheidend: bei Kategorie A etwa ein Verhältnis von 2:3, bei B gleich lange Seiten oder ein größerer Unterschied“
- „Kann man nicht in Worte fassen“
- „A gleichschenkelig“
- „Verhältnis der Schenkellängen zueinander“
- „Regelmäßige Abfolge von A und B“
- „A = Harmonie, B = Disharmonie“
- „Bei A ist der eine Schenkel doppelt so lang wie der andere, bei B wechselt das Verhältnis“

Es wurden also fast korrekte Beschreibungen abgegeben, die zu einem sehr hohen Anteil an richtigen Zuordnungen führen sollten, ebenso waren einige Beschreibungen teilweise korrekt oder auch vollkommen unzutreffend (z.B. es habe eine bestimmte Reihenfolge von A- und B-Stimuli gegeben). Auffällig war, dass einige Versuchspersonen zwar angaben, sie glaubten an eine zugrunde liegende Regel, hätten diese aber nicht herausgefunden oder könnten sie nicht beschreiben. Die Tatsache, dass ein Teilnehmer eine mögliche zugrunde liegende Regel nicht verbalisieren kann, sagt dabei noch nicht unbedingt etwas darüber aus, ob nicht doch regelbasiert vorgegangen wurde. Das Regelwissen könnte sich unterhalb der „subjektiven Schwelle“, aber oberhalb der „objektiven Schwelle“ befinden, d.h. die Person weiß nicht, dass sie etwas weiß, das Wissen ist aber trotzdem vorhanden, lässt sich eben nur im freien Abruf nicht verbalisieren (Dienes & Berry, 1997). Im nächsten Abschnitt soll ein exploratives Vorgehen vorgestellt werden, mittels dessen das strategische (oder auch nicht-strategische) Vorgehen jeder einzelnen Versuchsperson aufgrund

ihres Antwortmusters (Reaktion auf jeden einzelnen Stimulus) definiert werden soll. Ziel ist eine Einteilung in verschiedene Gruppen mit unterschiedlichem strategischem (oder nicht-strategischem) Vorgehen, so dass sich auch überprüfen lässt, ob sich das Ausmaß des regelbasierten Lernens zwischen Parkinsonpatienten und jüngeren oder älteren Probanden oder auch in den beiden Lernbedingungen unterscheidet.

Bei der Bestimmung der möglichen strategischen Vorgehensweisen ließ ich mich von den Beschreibungen der Teilnehmer (Antworten auf die offene Frage nach dem Vorgehen, s.o.) leiten. Die beschriebenen Strategien beruhen darauf, die Stimuli in drei Gruppen (drei voneinander getrennte Punktwolken, siehe Abbildung 11) einzuteilen, die sich auf eine bestimmte Art verbal beschreiben lassen. Dabei stellen die folgenden Formulierungen nur jeweils eine von mehreren Möglichkeiten dar.

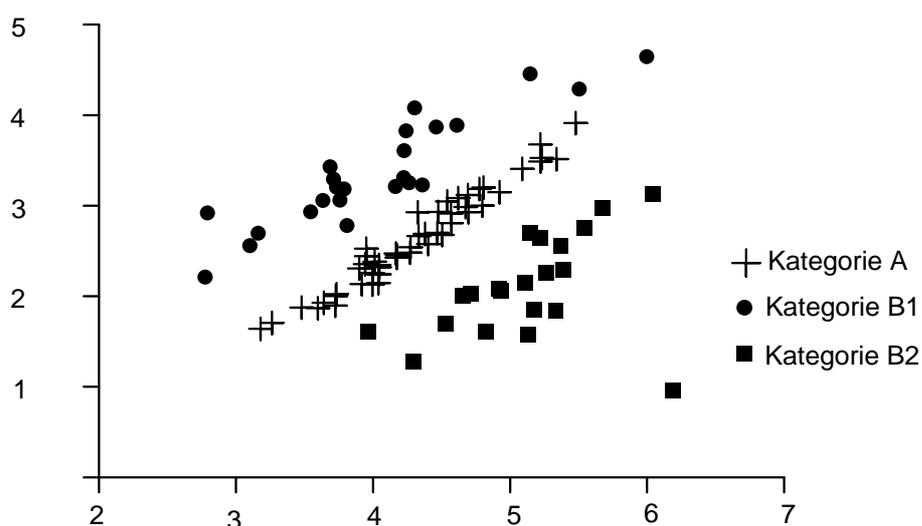


Abbildung 11. Stimuli des Kategorielernens und ihre mögliche Aufteilung in drei Untergruppen (Kategorie A sowie zwei Untergruppen der Kategorie-B-Stimuli) als Basis für die Strategieanalyse. Auf der x-Achse ist die Länge der horizontalen Linie, auf der y-Achse die Länge der vertikalen Linie jedes Stimulus abgetragen.

Beim idealen strategischen Vorgehen werden die Stimuli genauso sortiert, wie es die korrekte Zuordnung vorsieht, d.h. die Stimuli der Kategorie A bilden mittig eine längliche Punktwolke, und die Stimuli der Kategorie B liegen unterhalb und oberhalb davon (Abbildung 8A)

Eine suboptimale Strategie (Strategie 1, Abbildung 12) lässt sich verbal folgendermaßen beschreiben: „Wenn die horizontale und die vertikale Linie ungefähr gleich lang sind, wähle B, ansonsten wähle A.“ Diese Strategie stellt sich graphisch so dar, dass die Stimuli der Kategorie A (mittige längliche Punktwolke) und die Stimuli der Kategorie B, die unterhalb der Kategorie A liegen (untere längliche Punktwolke, Kategorie B2 in Abbildung 11), richtig zugeordnet werden, während die Stimuli der Kategorie B, die oberhalb der Kategorie A liegen (obere längliche Punktwolke, Kategorie B1 in Abbildung 11), fälschlich auch als zu Kategorie A gehörig einsortiert werden.

Bei einer anderen suboptimalen Strategie (Strategie 2) wird eine andere Untergruppe der B-Stimuli richtig eingeordnet: „Wenn die vertikale Linie viel länger ist als die horizontale Linie, wähle B, ansonsten wähle A.“ Stellt man diese Strategie graphisch dar, ergibt sich das Muster aus Abbildung 13: Die Stimuli der Kategorie A sowie die B-Stimuli, die oberhalb der A-Stimuli liegen (B1), werden richtig zugeordnet, die untere längliche Punktwolke von B-Stimuli (B2) wird jedoch falsch zugeordnet.

Folgende Strategie (Strategie 3, Abbildung 14) stellt das Gegenteil von Strategie 1 dar, ordnet also nur die Stimuli der oberen länglichen Punktwolke richtig zu (B1), alle anderen aber falsch: „Wenn beide Linien ungefähr gleich lang sind, wähle A, ansonsten wähle B.“

Und schließlich beschreibt Strategie 4 (Abbildung 15) das gegenteilige Vorgehen von Strategie 2: „Wenn die vertikale Linie viel länger ist als die horizontale, wähle A, sonst wähle B.“ Hier werden also nur die Stimuli der unteren länglichen Punktwolke (B2) richtig zugeordnet, alle anderen aber falsch.

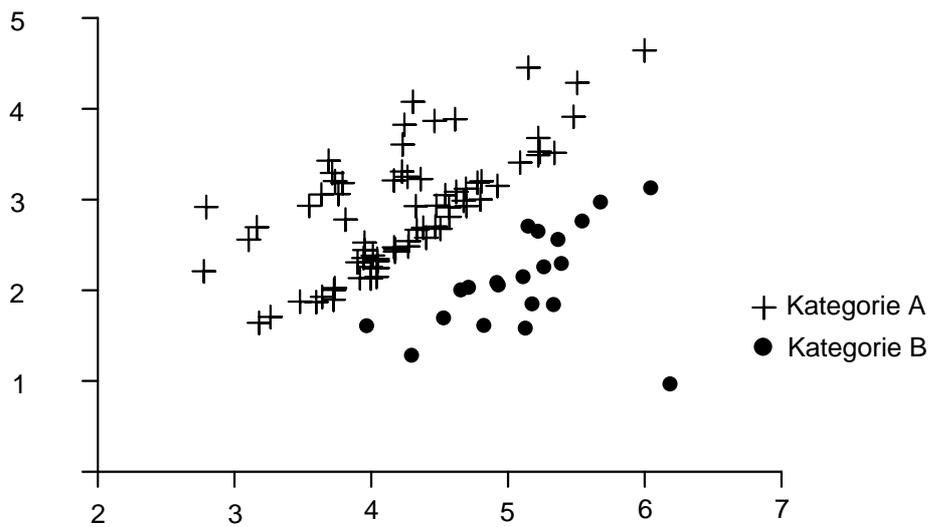


Abbildung 12. Strategie 1. Die Stimuli, die als Kreuze gekennzeichnet sind, werden bei dieser Strategie Kategorie A zugeordnet, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, werden bei Kategorie B einsortiert. Auf der x-Achse ist die Länge der vertikalen Linie, auf der y-Achse die Länge der horizontalen Linie jedes Stimulus abgetragen.

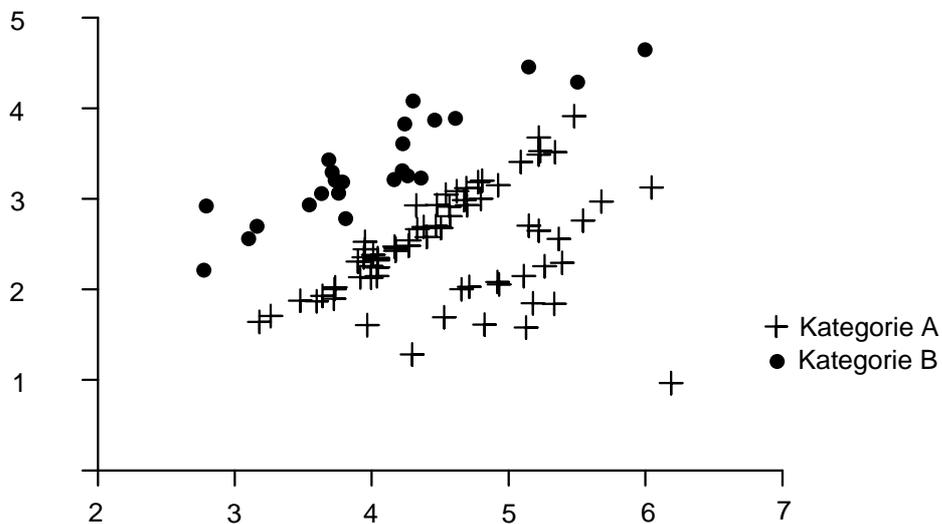


Abbildung 13. Strategie 2. Die Stimuli, die als Kreuze gekennzeichnet sind, werden bei dieser Strategie Kategorie A zugeordnet, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, werden bei Kategorie B einsortiert. Auf der x-Achse ist die Länge der vertikalen Linie, auf der y-Achse die Länge der horizontalen Linie jedes Stimulus abgetragen.

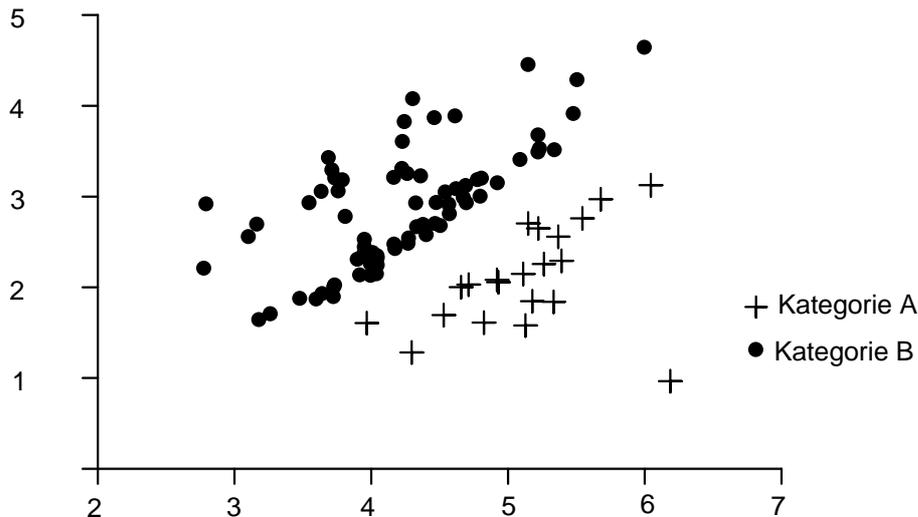


Abbildung 14. Strategie 3. Die Stimuli, die als Kreuze gekennzeichnet sind, werden bei dieser Strategie Kategorie A zugeordnet, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, werden bei Kategorie B einsortiert. Auf der x-Achse ist die Länge der vertikalen Linie, auf der y-Achse die Länge der horizontalen Linie jedes Stimulus abgetragen.

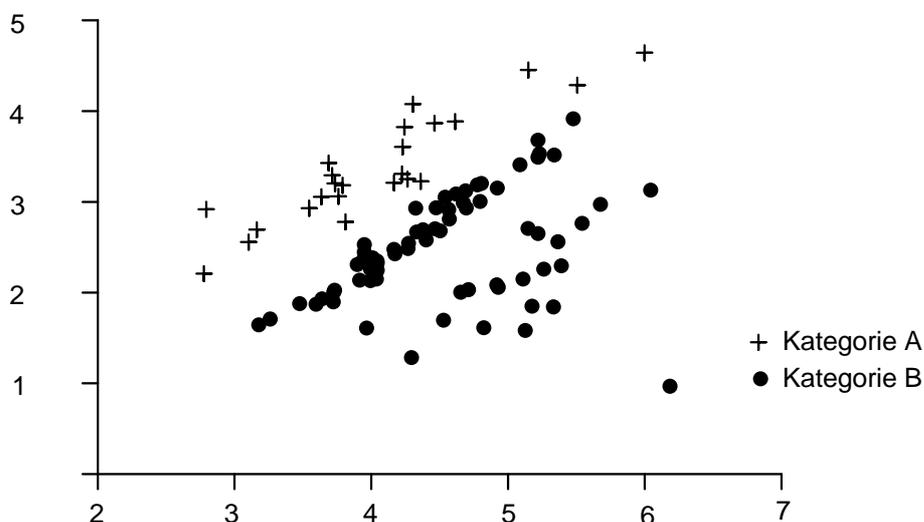


Abbildung 15. Strategie 4. Die Stimuli, die als Kreuze gekennzeichnet sind, werden bei dieser Strategie Kategorie A zugeordnet, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, werden bei Kategorie B einsortiert. Auf der x-Achse ist die Länge der vertikalen Linie, auf der y-Achse die Länge der horizontalen Linie jedes Stimulus abgetragen.

Von den vier suboptimalen Strategien sind die Strategien 1 und 2 besser, denn es werden jeweils nur die Hälfte der B-Stimuli falsch zugeordnet (die obere bzw. die untere längliche Punktwolke), während bei den Strategien 3 und 4 die Hälfte der B-Stimuli und alle A-Stimuli falsch zugeordnet werden.

Um nun das strategische Vorgehen zu bestimmen, wurde das individuelle Antwortmuster (also die Reaktion auf jeden einzelnen Stimulus) im letzten Testblock für jede einzelne Versuchsperson getrennt analysiert. Zu diesem Zweck wurde für jede der fünf Strategien eine neue Variable gebildet, die jedem einzelnen Stimulus den Wert 0 oder 1 zuordnete. Diese Variable nahm den Wert 0 an, wenn sich die Versuchsperson im Sinne der Strategie entschieden hatte, und nahm den Wert 1 an, wenn sie sich nicht im Sinne der Strategie entschieden hatte. Durch ein Aufsummieren dieser Werte ließ sich für jede Versuchsperson ein Abweichungsmaß für jede einzelne Strategie berechnen: Je kleiner der Summenwert, desto stärker hatte die Versuchsperson im Sinne der jeweiligen Strategie entschieden. Wenn man für jede Versuchsperson die Zuordnung der einzelnen Stimuli zu den Kategorien graphisch veranschaulicht, kann man diese Abbildungen mit den Abbildungen 12 bis 15, die die Strategien illustrieren, vergleichen. Je mehr sich die Zuordnungen der einzelnen Punkte decken, desto eher hat die jeweilige Versuchsperson die entsprechende Strategie genutzt. Abbildung 16 zeigt ein Beispiel einer Versuchsperson, die sich sehr stark an Strategie 1 orientiert hat.

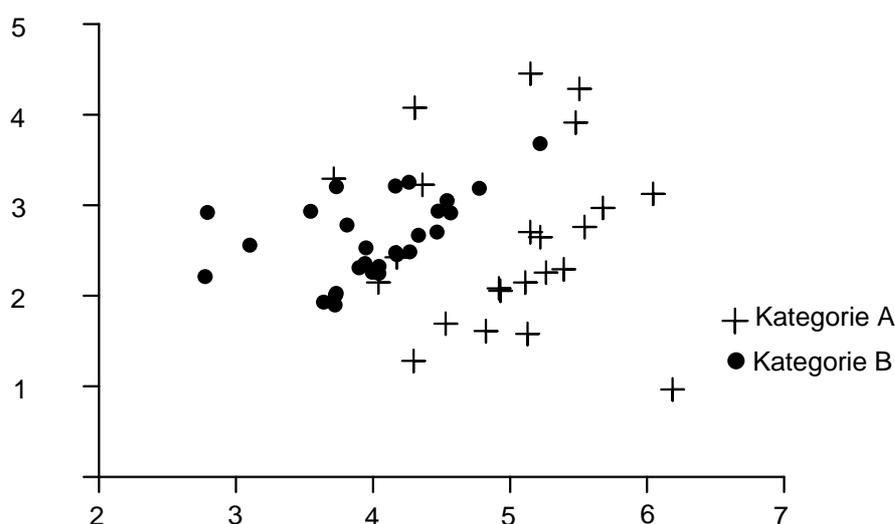


Abbildung 16. Beispiel einer Versuchsperson, die sich sehr an Strategie 1 orientiert hat. Gezeigt ist die Zuordnung der Stimuli im letzten Testblock. Die Stimuli, die als Kreuze erscheinen, wurden von der Versuchsperson als zu Kategorie A gehörig einsortiert, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, als zu Kategorie B gehörig.

Anhand des Abweichungsmaßes ließ sich nun also für jede Versuchsperson bestimmen, welcher der zuvor spezifizierten Strategien sie am ehesten gefolgt ist. Da jedoch wahrscheinlich eine Untergruppe von Probanden auch gänzlich ohne Strategie vorgegangen ist, wurde zusätzlich folgende Überlegung angestellt: Ein Summenwert des Abweichungsmaßes von 25 bedeutet eine zufällige Kategorisierungsleistung der Versuchsperson (bei 50 Stimuli), und zwar unabhängig von der zugrunde gelegten Strategie und der darin spezifizierten Zahl der A- bzw. B-Antworten. Mit Hilfe eines Binomialtests wurde ein Grenzwert für das Abweichungsmaß von 18 bestimmt, ab dem nicht mehr von einem zufälligen Antwortverhalten auszugehen ist. In Abbildung 17 ist das Beispiel einer Versuchsperson mit so einem zufälligen Antwortverhalten dargestellt. Sind also alle fünf Summenwerte (für die fünf Strategien) einer Versuchsperson größer oder gleich 18, wird diese der Gruppe „keine Strategie“ zugeordnet, ansonsten wird sie derjenigen Strategie mit dem kleinsten Summenwert im Abweichungsmaß zugeordnet.

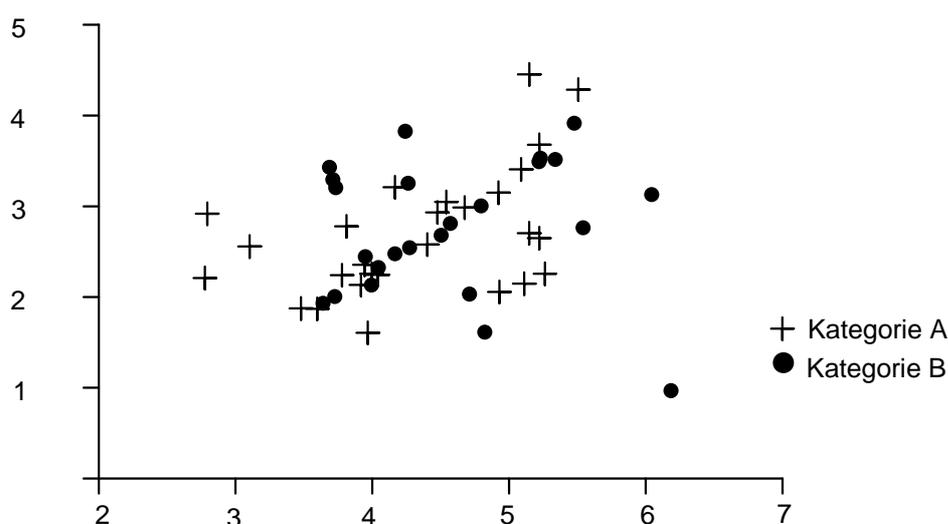


Abbildung 17. Beispiel einer Versuchsperson, die bei der Kategorisierung keine erkennbare Strategie angewendet hat. Gezeigt ist die Zuordnung der Stimuli im letzten Testblock. Die Stimuli, die als Kreuze erscheinen, wurden von der Versuchsperson als zu Kategorie A gehörig einsortiert, die Stimuli, die als Punkte erscheinen, als zu Kategorie B gehörig.

Durch dieses Vorgehen konnte jede Versuchsperson bezüglich ihres strategischen Vorgehens einer Gruppe zugeordnet werden. Für die weitere Auswertung wurden die Strategien 1 bis 4 zu einer Gruppe zusammengefasst, um größere Gruppen zu erhalten, da es sich bei allen um eine suboptimale Strategie handelt. So blieben 3 Gruppen übrig:

- ideale Strategie
- suboptimale Strategie
- keine Strategie

In Tabelle 6 sind die Häufigkeiten der verwendeten Strategien getrennt für die drei Experimentalgruppen und die beiden Bedingungen dargestellt. Eine inferenzstatistische Auswertung mittels Chi²-Test ist leider bei den vorliegenden Daten nicht möglich. Die Gruppengrößen sind so gering, dass die Zahl der erwarteten Häufigkeiten in vielen Zellen kleiner als 5 ist, so dass die Voraussetzungen für eine sinnvolle Anwendung des Tests nicht gegeben sind. Die wichtigste Frage ist die, ob sich die Zahl derjenigen Teilnehmer, die keine Strategie anwendeten, von der Zahl derjenigen, die eine Strategie (optimal oder suboptimal) anwendeten, in den Experimentalgruppen oder den Bedingungen unterschied. Mit einem einfachen Blick auf die Häufigkeiten in Tabelle 4 lässt sich feststellen, dass dies nicht der Fall ist. Zwar ist die Zahl der Probanden in der Beobachtungsbedingung, die keine Strategie anwendeten, leicht erhöht, jedoch ist dies bei den kleinen Gruppengrößen nur begrenzt aussagekräftig. Insgesamt ist die Zahl derjenigen Teilnehmer, die keine Strategie anwendeten, eher gering, bei den jüngeren Probanden ist die Zahl am geringsten. Dabei muss man jedoch im Blick behalten, dass diese Auswertung einen rein explorativen Charakter hat und die Festlegung der Strategien eine im Nachhinein plausibel erscheinende Interpretation der Daten darstellt. Ansonsten bestätigen die Daten im Wesentlichen die zuvor berichteten Ergebnisse der Kategorisierungsleistung: In der Feedback-Bedingung nutzten sowohl Patienten als auch ältere Probanden sehr häufig eine suboptimale Strategie, deswegen zeigte sich in dieser Bedingung auch kein Lernerfolg. In der Beobachtungsbedingung verwendeten insbesondere die älteren Probanden häufiger eine optimale Strategie. Die jüngeren Probanden arbeiteten insgesamt kaum ohne oder mit suboptimaler Strategie und wendeten die optimale Strategie häufiger in der Feedback-Bedingung als in der Beobachtungsbedingung an.

Tabelle 6. Unterschiede im strategischen Vorgehen (Häufigkeiten) in den einzelnen Gruppen.						
	Parkinsonpatienten		Ältere Probanden		Jüngere Probanden	
	Feedback	Beob.	Feedback	Beob.	Feedback	Beob.
Keine Strategie	3	6	3	3	1	1
Suboptimale Strategie	10	5	10	3	1	4
Optimale Strategie	3	4	2	9	8	5

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die in Abschnitt 1.6 formulierten Hypothesen hinsichtlich des Unterschieds zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden ließen sich nicht bestätigen. Zwar unterschied sich die Kategorisierungsleistung zwischen Parkinsonpatienten und Probanden wie vorhergesagt in der Beobachtungsbedingung nicht, jedoch war die Leistung zwischen beiden Gruppen auch in der Feedback-Bedingung nicht unterschiedlich. Beide Gruppen zeigten in der Feedback-Bedingung eine schlechtere Leistung als in der Beobachtungsbedingung. So ließ sich also der vorhergesagte Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Bedingung für den Vergleich zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden nicht bestätigen. Beide Gruppen zeigten in der Feedback-Bedingung keinen Lernerfolg, wenn auch die Ergebnisse der Lerndurchgänge darauf hindeuten, dass eine geringfügige Verbesserung der Kategorisierungsleistung im Zeitverlauf stattgefunden hat.

Im Gegensatz zu dem Vergleich zwischen Parkinsonpatienten und Kontrollprobanden zeigte sich der vorhergesagte Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Bedingung beim Vergleich zwischen jüngeren und älteren gesunden Probanden: In der Beobachtungsbedingung gab es keinen Unterschied zwischen jüngeren und älteren Probanden, während die jüngeren Probanden in der Feedback-Bedingung eine bessere Leistung zeigten als die älteren (und die Parkinsonpatienten). Der signifikante Haupteffekt für den Faktor „Gruppe“ spricht dafür, dass die jüngeren Probanden insgesamt eine bessere Leistung zeigten als die älteren, aber mit einem Blick auf Abbildung 10 wird klar, dass dies hauptsächlich auf den Unterschied zwischen beiden Gruppen in der Feedback-Bedingung zurückzuführen ist. Jüngere und ältere Probanden zeigten also bezüglich der beiden Versuchsbedingungen ein entgegengesetztes Muster: Während die älteren in der Feedback-Bedingung im Vergleich zur Beobachtungsbedingung schlechter abschnitten, zeigten die jüngeren in der Feedback-Bedingung im Vergleich zur Beobachtungsbedingung eine bessere Leistung. Insgesamt scheint also die dopaminerge Dysfunktion bei den Parkinsonpatienten für die Verarbeitung von Feedback in unserer Aufgabe nicht die entscheidende Rolle zu spielen, während sich ein deutlich negativer Einfluss des Alters auf die Verarbeitung von Feedback zeigte.

Die im Ergebnisteil (siehe Tabelle 2) beschriebenen Unterschiede zwischen den Parkinsonpatienten und den gesunden Kontrollprobanden im Ausmaß der Depressivität und in einem Zielwert der Untersuchung zur Längenschätzung (Abweichung vom Zielwert bei der vertikalen Längenschätzung) sind für die Interpretation der Ergebnisse nicht von Belang, da sich zwischen beiden Gruppen keine Unterschiede in der Kategorisierungsleistung ergaben. Bei den Parkinsonpatienten und den älteren Kontrollprobanden sind die Leistungsunterschiede zwischen der Feedback- und der Beobachtungsbedingung nicht auf andere Variablen wie z.B. Alter, Bildungsgrad, Depressivität, kognitive Leistungsfähigkeit oder Unterschiede in der visuospatialen Verarbeitung zurückzuführen, da aufgrund der randomisierten Zuteilung der Patienten und Probanden zu den beiden Bedingungen keine systematischen Unterschiede in diesen Variablen zwischen beiden Bedingungen bestanden (siehe Tabelle 3).

Bei der Beurteilung des Leistungsunterschieds zwischen den älteren und den jüngeren Probanden muss der im Ergebnisteil beschriebene Unterschied zwischen beiden Gruppen im Summenwert des Beck Depressionsinventars (siehe Tabelle 4) berücksichtigt werden, auch wenn dies, wie bereits beschrieben, wahrscheinlich nur eine normale Entwicklung im Alter abbildet. Jedoch spricht der Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Bedingung (siehe Abbildung 10) dagegen, den Unterschied in der Kategorisierungsleistung zwischen jüngeren und älteren Probanden durch den erhöhten Wert im Beck Depressionsinventar zu erklären, denn dies würde sich ja auf beide Bedingungen gleich auswirken. Weiterhin zeigte sich trotz der randomisierten Zuteilung bei den älteren und jüngeren Probanden in einem Maß für die Längenschätzung (Abweichung vom Zielwert bei der vertikalen Längenschätzung) eine schlechtere Leistung der Probanden in der Feedback-Bedingung verglichen mit den Probanden der Beobachtungsbedingung (siehe Tabelle 5). Auch dies beeinträchtigt die Interpretation der Ergebnisse nicht, weil wiederum dieser Unterschied nicht den beobachteten Interaktionseffekt erklären kann: Wäre tatsächlich die Fähigkeit zur korrekten Längenschätzung bei den Probanden in der Feedback-Bedingung schlechter als bei denen in der Beobachtungsbedingung (aufgrund des nicht vorhandenen Gruppenunterschieds in den anderen drei Maßen für die Längenschätzung ist dies überdies nicht sehr wahrscheinlich), müsste sich dies auf die Kategorisierungsleistung beider Gruppen auswirken, jedoch waren die jüngeren Probanden in der Feedback-Bedingung sogar besser als in der Beobachtungsbedingung.

Zusammenfassend lassen sich die beobachteten Effekte nicht auf systematische Unterschiede in anderen Variablen zurückführen, sondern sind als Ergebnis der experimentellen Manipulation zu betrachten. Im Folgenden soll nun genauer diskutiert werden, wie die Ergebnisse auch im Lichte bisheriger Befunde aus der Literatur zu interpretieren sind und welche Schlüsse daraus gezogen werden können. Dies geschieht getrennt für den Effekt des Morbus Parkinson und den Alterseffekt.

4.2 Auswirkungen der dopaminergen Dysfunktion beim Morbus Parkinson auf das Kategorienlernen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten darauf hin, dass die dopaminerge Dysfunktion bei Patienten mit Morbus Parkinson sich in der hier verwendeten Aufgabe weder auf das feedback-basierte Lernen noch auf das Kategorienlernen an sich auswirkt. Sowohl die Parkinsonpatienten als auch die älteren Kontrollprobanden zeigten keinen Lerneffekt in den Testdurchgängen der Feedback-Bedingung, allerdings sprechen die Ergebnisse der Lerndurchgänge dafür, dass zumindest in geringem Umfang auch in der Feedback-Bedingung gelernt wurde. Möglicherweise ist dieser Lerneffekt so gering, dass er sich nur in den Lernblöcken zeigte, die mit 100 Durchgängen doppelt so lang waren wie die Testblöcke (je mehr Durchgänge, desto größer die Power des entsprechenden Signifikanztests). Eine andere mögliche Erklärung für die Diskrepanz zwischen Lern- und Testblöcken ist die, dass das Lernen in der Feedback-Bedingung so instabil ist, dass der Lernende auf kontinuierliches Feedback angewiesen bleibt und die Leistung auf das Zufallsniveau zurückfällt, wenn das Feedback ausbleibt.

Für den fehlenden Unterschied in der Kategorisierungsleistung zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden gibt es verschiedene mögliche Erklärungen. Eine davon hat mit der Tatsache zu tun, dass sich die Patienten in der vorliegenden Untersuchung in medikamentöser Behandlung befanden. Man könnte also argumentieren, dass die dopaminerge Dysfunktion durch die Medikation korrigiert wurde und sich somit nicht auf die Leistung in der Kategorisierungsaufgabe auswirken konnte. Gegen diese Erklärung spricht aber die Tatsache, dass praktisch in allen bisherigen Studien, die bei Parkinsonpatienten ein Defizit im Kategorienlernen oder bei der Verarbeitung von Feedback gefunden haben, medizierte Patienten untersucht worden sind (Ashby et al., 2003; Dubois & Pillon, 1997; Filoteo et al., 2005b; Knowlton et al., 1996a; Maddox et al., 2005; Shohamy et al.,

2004a). Offensichtlich kann das fehlende Dopamin im Gehirn von Parkinsonpatienten durch die Medikation zumindest nicht vollständig ersetzt werden. Dafür spricht auch, dass alle in der Studie untersuchten Patienten deutliche motorische und teilweise auch vegetative Symptome des Morbus Parkinson aufwiesen; dies wäre bei einer vollständigen Korrektur der dopaminergen Dysfunktion nicht zu erwarten. Auch wenn das dopaminerge Defizit im Putamen früher auftritt und ausgeprägter ist als im Nucleus caudatus (Damier et al., 1999) - der für unsere Studie wegen seiner angenommenen Bedeutung für die Verarbeitung von Feedback und das Kategorienlernen wichtigeren Struktur -, so ist die motorische Beeinträchtigung der Patienten in dieser Studie so ausgeprägt (Mittelwert = 19.77, Standardabweichung = 11.25 im UPDRS III), dass von einer Dysfunktion sowohl im Putamen als auch im Nucleus caudatus ausgegangen werden kann.

Eine Reihe von Autoren nimmt an, dass die dopaminerge Medikation bei Parkinsonpatienten differentielle Effekte auf verschiedene kognitive Funktionen hat (Cools et al., 2001a; Gotham, Brown & Marsden, 1988; Swainson et al., 2000). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die dopaminerge Medikation die Leistung im Aufgabenwechsel („task switching“) verbessert, während die Leistung in einer Aufgabe zum probabilistischen „Umkehrungslernen“ („reversal learning“) durch die Medikation beeinträchtigt wird. Bei dieser letzten Aufgabe geht es darum, bereits gelernte Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen sozusagen wieder aufzulösen und neue, andere zu erlernen. Die durch die dopaminerge Medikation hervorgerufenen Defizite beziehen sich auf diese Umkehrung, d.h. die Medikation scheint zu verhindern, dass die Patienten anhand des negativen Feedbacks lernen, bereits erlernte Reaktionstendenzen wieder zu verändern. Laut den Autoren hängt dies damit zusammen, dass es durch die Medikation zu einer „Überdosierung“ mit Dopamin im ventralen Striatum kommt - wo zu Beginn der Erkrankung noch ein normales dopaminerges Niveau herrscht - und somit die Funktion des ventralen Striatums, insbesondere die Verarbeitung von negativem Feedback, beeinträchtigt wird. Übertragen auf die vorliegende Studie, bei der die Parkinsonpatienten unter dopaminenger Medikation untersucht wurden, würde man nach diesem Ansatz also nicht nur trotz der Medikation, sondern gerade deswegen eine Beeinträchtigung des feedback-basierten Lernens erwarten. Insofern lässt sich die gerade geschilderte Hypothese zur differentiellen Auswirkung der dopaminergen Medikation auf bestimmte kognitive Funktionen nicht bestätigen.

Will man die Befunde der aktuellen Studie in den Kontext der anderen Ergebnisse zum Kategorienlernen mit ähnlichen Stimuli stellen, so stellt sich zunächst die Frage, ob die Teilnehmer beim vorliegenden Experiment explizit und regelbasiert vorgehen oder in einem eher impliziten („information-integration-“) Prozess durch Verstärkung die Verknüpfung zwischen den einzelnen Stimuli und den Kategorien lernten. Das Stimulusmaterial und die Stimulusstruktur des vorliegenden Experiments waren ursprünglich ausgewählt worden, um einen eher impliziten („information-integration-“) Prozess des Kategorienlernens anzuregen, denn der Theorie nach (Ashby et al., 1998) spielt das dopaminerge Feedback-Signal aus der substantia nigra für das implizite striatale Lernsystem eine besondere Rolle. Die eine Studie, in der sich bisher ein Defizit der Parkinsonpatienten im feedback-basierten Lernen bestätigen ließ, war ebenfalls eine Aufgabe, die traditionell als impliziter Test gesehen wird (der „Wetter-Test“ aus dem probabilistischen Klassifikationslernen) (Shohamy et al., 2004a). Andererseits zeigt sich anhand der aktuellen Studie wiederum, wie problematisch die Einordnung einer Lernaufgabe als impliziter oder expliziter Test ist. Dies wurde im Theorieteil bereits anhand einiger Beispiele dargestellt. In der Untersuchung von Maddox und Filoteo (2001) wird die Kategorisierungsaufgabe als „information integration“-Test eingeordnet, vorwiegend wegen der komplexen, nonlinearen Entscheidungsregel, die beide Kategorien voneinander trennt. Weiterhin zeigte sich bei Maddox und Filoteo (2001), wo die Aufgabe ja nur feedback-basiert dargeboten wurde, ein Defizit der Parkinsonpatienten gegenüber den gesunden Kontrollprobanden, so dass es sinnvoll erschien, die Aufgabe im Rahmen der Fragestellung dieser Studie zu verwenden. Jedoch legen die Ergebnisse der Transferdurchgänge nahe, dass beim Lernen in dieser Aufgabe auch das explizite, regelbasierte Lernen eine wichtige Rolle gespielt hat. So waren zumindest die Parkinsonpatienten und die älteren Kontrollprobanden in der Lage, ihr Kategorienwissen in vollem Umfang auf die gedrehten Stimuli aus den Transferblöcken zu übertragen. Dies wäre bei einem impliziten Prozess, bei dem über ein Verstärkungssignal jeweils die Verknüpfung eines einzelnen Stimulus mit einer Verhaltensantwort gelernt wird, kaum denkbar, denn die gedrehten Stimuli haben ja erstmal ein deutlich anderes Erscheinungsbild. Nur wenn eine zuvor aus den gezeigten Exemplaren abgeleitete Regel (die sich auf das Verhältnis der Längen beider Seiten zueinander bezieht) auf dieses Erscheinungsbild angewendet wird, können auch die veränderten Stimuli korrekt kategorisiert werden. Auch die jüngeren Probanden zeigten im Transferblock eine Leistung oberhalb des Zufallsniveaus, auch wenn sie zumindest in der Feedback-Bedingung (wo ja das

Ausgangsniveau in den Testblöcken sehr hoch war) ihr Wissen nicht in vollem Umfang übertragen konnten. Dies lässt sich dahingehend interpretieren, dass auch bei dieser Aufgabe, wie bei vielen anderen traditionell impliziten Aufgabe, insbesondere dem Wetter-Test, sowohl implizites Lernen von Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen als auch explizite regelbasierte Strategien zum Einsatz kamen.

Weiterhin beantwortete die Mehrzahl der Teilnehmer in allen Gruppen die abschließende „Regelfrage“ mit „ja“, d.h. sie glaubten an eine der Kategorienzugehörigkeit zugrunde liegende Regel. Teilweise konnten sie die Regel verbal recht gut beschreiben, jedoch fanden sich auch falsche Regeln, oder Probanden gaben an, die Regel nicht in Worte fassen zu können (siehe Abschnitt 3.3). Andererseits herrscht in der Literatur ein Konsens, dass der freie Bericht ein unvollständiges und wenig sensitives Maß für das Wissen bzw. die Fertigkeit darstellt, die in einer solchen Lernaufgabe erworben werden (Dienes und Berry, 1997).

Im Ergebnisteil wurde bereits drauf eingegangen, welche verbalen Beschreibungen der Kategorienstruktur denkbar sind, auch wenn diese Regeln aufgrund der Verschiebung der Stimuli im Koordinatensystem nicht ganz so einfach und salient sind wie in der Arbeit von Maddox und Filoteo (2001). Jedoch scheint es, dass die Maßnahme der Verschiebung nicht ausreichend war, um regelbasiertes Vorgehen zu verhindern. Auch die Ergebnisse der explorativen Analyse des strategischen Vorgehens sprechen dafür, dass regelbasiertes Vorgehen in erheblichem Maße angewendet wurde: Nur eine sehr geringe Anzahl an Teilnehmern aus allen drei Gruppen fiel in die Gruppe „keine Strategie“.

Möglicherweise wurde die Tendenz, ein regelbasiertes Vorgehen anzuwenden, in unserem Versuch durch die zu Beginn durchgeführte baseline-Messung begünstigt. In diesen Durchgängen sollten die Teilnehmer Entscheidungen über die Kategorienzugehörigkeit treffen, ohne Rückmeldung zu erhalten (Feedback-Bedingung) bzw. ohne vorher korrekte Zuordnungen gesehen zu haben (Beobachtungsbedingung). Ashby et al. (1999) haben gezeigt, dass Versuchspersonen unter solchen Bedingungen („unsupervised categorization“) eindimensionale, d.h. einfache und explizite Regeln zum Sortieren anwenden.

Wenn man jetzt also aufgrund der bisher diskutierten Hinweise davon ausgeht, dass in dieser Studie neben einem eher impliziten Lernen von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen auch explizites, regelbasiertes Lernen stattgefunden hat, so stellen sich trotzdem zwei Fragen:

- Wieso ließ sich kein Unterschied in der Testleistung zwischen Parkinsonpatienten und gesunden Kontrollprobanden finden?
- Wieso ließ sich kein spezifisches Defizit der Parkinsonpatienten in der Feedback-Bedingung finden?

Die erste Frage hat den Hintergrund, dass - wie im theoretischen Teil bereits beschrieben - in der Literatur meist davon ausgegangen wird, dass die exekutive fronto-striatale Schleife mit dem Kopf des Nucleus caudatus, die bei Parkinsonpatienten beeinträchtigt ist, beim regelbasierten Lernen eine wichtige Rolle spielt. Neben anderen exekutiven Defiziten (Dubois & Pillon, 1997) ist insbesondere die Leistung im WCST (Gotham et al., 1988; Lees & Smith, 1983) und in ähnlichen anderen Aufgaben zum regelbasierten Kategorielernen (Ashby et al., 2003; Maddox et al., 2005) bei Parkinsonpatienten beeinträchtigt. Zusätzlich wurde auch bei Patienten, die aufgrund eines Schlaganfalls eine fokale Läsion des Putamens erlitten hatten, eine Beeinträchtigung des regelbasierten Kategorielernens gefunden (Ell et al., 2006). Auch verschiedene bildgebende Studien sprechen dafür, dass ein fronto-striatales Netzwerk am regelbasierten Lernen beteiligt ist: Beim WCST war ein Netzwerk aus dem mittleren ventrolateralen präfrontalen Kortex, dem Nucleus caudatus und dem mediodorsalen Thalamus für die Verarbeitung von negativem Feedback (d.h. dann, wenn ein mentaler Wechsel („shift“) nötig war) von Bedeutung (Monchi et al., 2001). Darauf aufbauend wurden Parkinsonpatienten mittels fMRT bei der Bearbeitung des WCST untersucht, und es zeigte sich eine andere Aktivierung bei den Patienten im Vergleich zu den gesunden Probanden: In den präfrontalen Arealen, die als Teil fronto-striataler Schleifen bei Gesunden bei der Bearbeitung des WCST aktiviert waren, zeigte sich bei den Patienten eine verminderte Aktivität, während die Aktivität in denjenigen Arealen, die bei Gesunden nicht zusammen mit dem Striatum aktiviert waren, bei Parkinsonpatienten verstärkt war (Monchi, Petrides, Doyon, Postuma, Worsley & Dagher, 2004). Dieselben Autoren verwendeten in einer weiteren fMRT-Studie eine abgewandelte Version des WCST; diese Ergebnisse sprechen dafür, dass der Nucleus caudatus und das Putamen insbesondere an der kognitiven Vorbereitung auf einen mentalen Wechsel beteiligt sind (Monchi, Petrides, Strafella, Worsley & Doyon, 2006). Auch eine regelbasierte perzeptuelle Kategorisierungsaufgabe, bei der Linien unterschiedlicher Länge und Orientierung verwendet wurden, jedoch nur die Länge der Linie entscheidend für die Kategorienzugehörigkeit war, wurde im fMRT untersucht (Filoteo et al., 2005c). Dabei fanden sich in Über-

einstimmung zu den Ergebnissen der WCST-Studie Hinweise für eine Bedeutung des Kopfes des Nucleus caudatus insbesondere für die Verarbeitung eines Fehlersignals (negatives Feedback) und für das bewusste Wechseln zwischen möglichen Regeln der Kategorienzugehörigkeit. Auch in einer Reihe weiterer fMRT-Untersuchungen zum regelbasierten Lernen von Konzepten und Kategorien fanden sich Hinweise für eine Beteiligung des Striatums im Rahmen eines fronto-striatalen Netzwerkes (Rao, Bobholz, Hammeke, Rosen, Woodley, Cunningham, Cox, Stein & Binder, 1997; Seger & Cincotta, 2002), wenn auch in einer anderen Untersuchung eine Aktivität im ventralen Striatum nur beim Verschieben der Aufmerksamkeit zwischen konkreten Objekten, nicht aber zwischen abstrakten Regeln gefunden wurde (Cools, Clark & Robbins, 2004). In einer Untersuchung fand sich eine bedeutsame striatale Aktivität, insbesondere im Kopf des Nucleus caudatus, und zwar insbesondere zu Beginn des Tests (Seger & Cincotta, 2006). Dies wird von den Autoren so interpretiert, dass der Caudatuskopf zu einem frühen Zeitpunkt, beim Initiieren und Kontrollieren (im Sinne einer exekutiven Kontrolle) des Regellernens, eine wichtige Rolle spielt, vielleicht bei der Entschlüsselung des situationalen Kontextes. Eine negative Korrelation mit der Aktivität im medialen Temporallappen deutet außerdem darauf hin, dass der Kopf des Nucleus caudatus an der koordinierten Interaktion zwischen diesen beiden Lernsystemen beteiligt ist. Im Gegensatz zum Caudatuskopf war die Aktivität im Körper und Schwanz des Nucleus caudatus mit dem erfolgreichen Lernen der Kategorisierungsaufgabe korreliert. Andererseits wurde nicht in allen Studien zum regelbasierten Kategorielernen eine Beteiligung striataler Strukturen gefunden, so war in einer Untersuchung nur der anteriore präfrontale Kortex bei einer solchen Aufgabe aktiviert (Strange, Henson, Friston & Dolan, 2001). Unter der Annahme, dass bei der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Aufgabe regelbasiertes Lernen und Testen von Hypothesen von Bedeutung war, steht der Befund, dass sich Parkinsonpatienten und gesunde Kontrollprobanden in ihrer Leistung nicht unterschieden, im Widerspruch zu den eben genannten Ergebnissen. Die einzige Studie, die zu dem Ergebnis einer unbeeinträchtigten Leistung von Parkinsonpatienten in einer regelbasierten Aufgabe kam, war die von Maddox und Filoteo (2001), an deren Stimulusmaterial ich mich bei der vorliegenden Arbeit orientierte. In dieser Studie waren die Parkinsonpatienten zwar in der Bedingung mit der komplexen, nonlinearen Regel gegenüber den Kontrollprobanden beeinträchtigt (aus diesem Grund wurde die Bedingung für die vorliegende Studie verwendet, um die Bedeutung des Feedbacks für dieses Defizit zu beleuchten); falls jedoch eine einfache, lineare Regel verwendet wurde

(„Wenn die vertikale Linie länger als die horizontale ist, sage A, wenn die horizontale länger ist als die vertikale, sage B“), zeigte sich keine Beeinträchtigung der Patienten gegenüber den Kontrollprobanden. Inwiefern unterscheidet sich also die in der vorliegenden Arbeit verwendete Aufgabe von denen in all den zitierten Studien, die für ein Defizit der Parkinsonpatienten sprechen? Eine mögliche Erklärung hat mit der Anzahl der irrelevanten Dimensionen zu tun, auf denen die Stimuli variieren können. Bei Parkinsonpatienten liegt ein Defizit in der selektiven Aufmerksamkeit vor, d.h. sie haben keine Schwierigkeiten, Merkmale mehrerer Dimensionen zu integrieren, sondern Beeinträchtigungen zeigen sich dann, wenn die Merkmale einer bestimmten Dimension selektiv beachtet und die Merkmale anderer - irrelevanter - Dimensionen gezielt ignoriert werden müssen (Filoteo & Maddox, 1999; Maddox, Filoteo, Delis, & Salmon, 1996). Tatsächlich waren die Parkinsonpatienten immer in solchen Aufgaben beeinträchtigt, in denen wenigstens eine, wenn nicht gar mehrere irrelevante Dimensionen enthalten waren - wie im WCST oder der WCST-ähnlichen Aufgabe von Ashby et al. (2003) (siehe Abbildung 5) oder auch in der Aufgabe von Maddox et al. (2005), wo die Länge zweier Linien und ihr Abstand zueinander variierten, aber nur eins von beiden für die Kategorienzugehörigkeit von Bedeutung war. Die Hypothese, dass die Beanspruchung der selektiven Aufmerksamkeit durch die Anzahl der irrelevanten Dimensionen für die Leistung beim regelbasierten Kategorieren von Bedeutung ist, wurde in zwei sehr neuen Studien gezielt untersucht (Filoteo, Maddox, Ing & Song, 2007; Filoteo, Maddox, Ing, Zizak & Song, 2005a), und es fanden sich deutliche Hinweise in diese Richtung. Möglicherweise zeigte sich also in der vorliegenden Untersuchung deswegen kein Unterschied in der Kategorisierungsleistung zwischen Patienten und Kontrollprobanden, weil es sich um regelbasiertes Lernen ohne Variation auf irrelevanten Dimensionen, also ohne zusätzliche Anforderungen an die selektive Aufmerksamkeit, handelt.

Andererseits stehen die Ergebnisse aus der Feedback-Bedingung der vorliegenden Studie im Einklang mit den Ergebnissen von Ashby et al. (2003), die in einer impliziten („information-integration“) und durch Feedback gelernten Lernaufgabe keinen Leistungsunterschied zwischen Parkinsonpatienten und älteren Kontrollprobanden fanden, beide Gruppen schnitten jedoch schlechter ab als eine Gruppe jüngerer Kontrollprobanden. Möglicherweise unterschied sich in der vorliegenden Studie also der Lernmechanismus in beiden Bedingungen: stärker regelbasiertes Lernen in der Beobachtungsbedingung und ein eher prozedurales Vorgehen in der Feedback-Bedingung.

Die zweite oben formulierte Frage bezieht sich darauf, wieso sich kein spezifisches Defizit der Parkinsonpatienten bei der Verarbeitung von Feedback zeigen ließ. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die dopaminerge Modulation der striatalen Funktionen, die beim Morbus Parkinson gestört ist, nicht die entscheidende Rolle bei der Verarbeitung von Feedback in unserer Kategorisierungsaufgabe spielt. Die Verarbeitung von Feedback im Kontext des belohnungsabhängigen Lernens hängt, ausgehend von bisherigen Befunden, zwar mit dopaminergen Prozessen in der ventralen tegmental Area und dem ventralen Striatum zusammen (Schultz, 2002), es spielen jedoch auch vom Dopamin unabhängige Prozesse im präfrontalen Kortex und in der Amygdala eine Rolle (Baxter, Parker, Lindner, Izquierdo & Murray, 2000).

Das fehlende spezifische Defizit von Parkinsonpatienten in der Feedback-Bedingung des verwendeten Paradigmas widerspricht den Ergebnissen von Shohamy et al. (2004a), in deren Studie sich ein solches spezifisches Defizit der Parkinsonpatienten in der Feedback-Bedingung des „Wetter-Tests“ gegenüber der Beobachtungsbedingung zeigte. In diesem Zusammenhang wurde ein Modell eines neuronalen Netzwerkes entwickelt (Frank, 2005; Frank, Scheres & Sherman, in press), das die Defizite von Parkinsonpatienten (und mögliche kognitive Beeinträchtigungen durch die dopaminerge Medikation, s.o.) im „Wetter-Test“ und allgemeiner in prozeduralen Lernaufgaben folgendermaßen erklärt: Das Lernen von Reiz-Reaktions-Verknüpfungen im Striatum durch positives und negatives Feedback ist von dem modulierenden Einfluss des Dopamins aus der substantia nigra, pars compacta, abhängig; dabei ist die genaue Dosis des ausgeschütteten Dopamins innerhalb einer großen dynamischen Spanne von entscheidender Bedeutung. Durch positives Feedback kommt es zu phasischen plötzlichen Erhöhungen und durch negatives Feedback zu phasischen plötzlichen Abfällen im dopaminergen Niveau. Diese dynamischen Veränderungen wirken auf die unterschiedlichen Verarbeitungswege in den Basalganglien: Durch die phasische Dopaminerhöhung wird die synaptische Plastizität im direkten „Go“-Weg erhöht, so dass die Wahrscheinlichkeit größer wird, dass die zuvor belohnte Reaktion nochmals gezeigt wird. Durch den phasischen Abfall im dopaminergen Niveau wird hingegen der indirekte „NoGo“-Weg verstärkt, so dass die zuvor gezeigte und mit negativem Feedback beantwortete Reaktion zukünftig nicht mehr gezeigt wird. Die aus diesem Modell abgeleitete Vorhersage, dass unmedizierte Parkinsonpatienten besser durch negatives als durch positives Feedback lernen (also Reaktionen, die mit einer möglicherweise negativen Konsequenz assoziiert sind, eher vermeiden, als dass sie Reaktionen, die zu einer positiven Konsequenz

führen könnten, zeigen) und Patienten mit dopaminergem Medikation umgekehrt besser durch positives als durch negatives Feedback lernen (also eher positive Konsequenzen suchen als negative vermeiden), konnte in einer empirischen Überprüfung bestätigt werden (Frank, Seeberger & O'Reilly, 2004). Da in der Lernaufgabe der vorliegenden Studie sowohl durch negatives als auch durch positives Feedback gelernt werden musste, würde man aufgrund der dopaminergen Dysfunktion bei den Parkinsonpatienten - berücksichtigt man nun den Effekt der dopaminergen Medikation oder nicht - in jedem Fall eine Beeinträchtigung des feedback-basierten Lernens erwarten. Wieso also ließ sich dieser Effekt nicht zeigen?

Es scheint von den genauen Eigenschaften einer Aufgabe abzuhängen, ob das dopaminerge striatale System für die Verarbeitung von Feedback von entscheidender Bedeutung ist oder nicht. Anders ausgedrückt scheint es eine Interaktion zwischen den Aufgabeneigenschaften und der Art, wie das Feedback verarbeitet wird, zu geben, so dass in einer Aufgabe (dem „Wetter-Test“) ein intaktes dopaminerges striatales System für die Verarbeitung von Feedback notwendig ist, während dies bei der Kategorisierungsaufgabe in der vorliegenden Arbeit nicht der Fall ist. Ein in diesem Zusammenhang möglicherweise wichtiger Unterschied zwischen beiden Paradigmen hat wiederum damit zu tun, in welchem Ausmaß regelbasiert gelernt wird. Die Hinweise auf ein regelbasiertes Lernen in der Lernaufgabe der vorliegenden Arbeit wurden ja bereits erläutert. Die Stimuli des „Wetter-Tests“ variieren im Vergleich zu den in dieser Arbeit verwendeten auf mehreren Dimensionen, dafür aber nur binär, während die Stimuli der vorliegenden Arbeit nur auf zwei Dimensionen, dafür aber stärker graduell abgestuft variieren. So lassen sich die einzelnen Stimuli des „Wetter-Tests“ möglicherweise besser im - expliziten oder impliziten - Gedächtnis speichern, während der regelbasierte Ansatz in der vorliegenden Arbeit erfolgreicher funktioniert. So betrachtet erinnert die Unterscheidung an die Beschreibung unterschiedlicher Strategien der Kategorisierung von Smith, Patalano und Jonides (1998), die das regelbasierte Vorgehen und das Kategorisieren anhand von Ähnlichkeiten zwischen den Stimuli unterscheiden. Ein spezifisches Defizit von Parkinsonpatienten bei der Verarbeitung von Feedback würde sich eher in einem Paradigma zeigen, in dem Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen gelernt werden, und weniger in einem Paradigma, in dem stärker regelbasiert vorgegangen wird. Dies passt gut zu den theoretischen Vorstellungen von Ashby et al. (1998) und Keri (2003) zur Bedeutung des dopaminergen Feedback-Signals aus der substantia nigra (pars compacta) für die Bildung von Reiz-Reaktions-Belohnungs-

Verknüpfungen im Nucleus caudatus. Auch das oben beschriebene Modell von Frank (2005) bezieht sich auf das prozedurale Lernen von Reiz-Reaktions-Belohnungs-Verknüpfungen. Die Parkinsonpatienten waren in der vorliegenden Arbeit also möglicherweise in der Feedback-Bedingung deswegen nicht beeinträchtigt, weil bei dem regelbasierten Lernen, das in dieser Aufgabe stattfand, das dopaminerge striatale System für die Verarbeitung von Feedback nicht von entscheidender Bedeutung ist.

Eine andere Möglichkeit, sich den fehlenden Effekt des Morbus Parkinson auf das feedback-basierte Lernen zu erklären, besteht darin, sich vor Augen zu führen, dass ja die Testleistung der Parkinsonpatienten tatsächlich wie vorhergesagt in der Feedback-Bedingung deutlich schlechter war als in der Beobachtungsbedingung – nur war es bei der Kontrollgruppe genauso. Es scheint also, dass der Alterseffekt auf das feedback-basierte Lernen so ausgeprägt ist (siehe nächster Abschnitt 4.3), dass in beiden älteren Gruppen in der Feedback-Bedingung kaum ein Lernen stattgefunden hat. Durch die schon sehr schlechte Leistung der älteren Kontrollprobanden in der Feedback-Bedingung könnte ein möglicherweise zusätzliches Defizit der Parkinsonpatienten verdeckt worden sein - denn eine noch schlechtere Leistung als die der Kontrollprobanden in den Testblöcken ist kaum möglich. Somit wäre die Leistung beider Gruppen in der Feedback-Bedingung aufgrund eines Bodeneffekts nicht zu diskriminieren.

Hier schließt sich die Frage an, wieso sich in beiden älteren Gruppen eine deutliche Überlegenheit der Leistung in der Beobachtungsbedingung gegenüber der Leistung in der Feedback-Bedingung zeigte. Um diese Frage zu beantworten, sollte ein genauer Vergleich der Anforderungen in beiden Bedingungen vorgenommen werden. Da diese Überlegungen jedoch auch mit der Diskussion eines Alterseffekts auf das Lernen in Zusammenhang stehen, soll darauf im folgenden Abschnitt eingegangen werden.

4.3 Auswirkungen des Alters auf das Kategorienlernen

Die Daten zum Vergleich zwischen jüngeren und älteren Kontrollprobanden bestätigen den vorhergesagten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Gruppe und Bedingung: Die Kategorisierungsleistung in der Beobachtungsbedingung unterschied sich zwischen beiden Gruppen nicht, während in der Feedback-Bedingung die jüngeren Probanden den älteren deutlich überlegen waren. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit dem Befund von Ashby et al. (2002), die die Leistung von jungen Probanden in einer vergleichbaren Kategorisie-

rungsaufgabe ebenfalls in einer Feedback- und einer Beobachtungsbedingung untersucht. Dabei war die Leistung der Probanden in der Feedback-Bedingung besser als in der Beobachtungsbedingung. Dieses zeigte sich in unserer Untersuchung gleichermaßen, jedoch wird das Bild komplettiert durch den Befund, dass sich das Muster im Alter umdreht: Durch den Alterungsprozess wird bei unserer Aufgabe ausschließlich das feedback-basierte Lernen beeinträchtigt. Dies lässt sich im Sinne von Marschner et al. (2005) als Hinweis für eine selektive Beeinträchtigung des belohnungs-assoziierten Lernens im Alter interpretieren, denn beide Bedingungen unterschieden sich ausschließlich im Feedback-Aspekt. Wie im vorigen Abschnitt bereits diskutiert, weisen jedoch die Ergebnisse der Parkinsonpatienten darauf hin, dass der Alterseffekt auf das feedback-basierte Lernen nicht in erster Linie durch ein Defizit im striatalen dopaminergen System zustande kommt, auch wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass die striatale dopaminerge Dysfunktion im Alter neben anderen möglichen Mechanismen (z.B. Verlust auch von serotonergen Rezeptoren im präfrontalen Kortex (Marschner et al., 2005)) eine Rolle spielt.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien zum Kategorienlernen, in denen sich eine Leistungsbeeinträchtigung im Alter zeigte, sei es bei expliziten, regelbasierten Aufgaben wie dem WCST (MacPherson et al., 2002) und ähnlichen komplexen regelbasierten Aufgaben (Racine et al., 2006) oder bei einer prozeduralen Aufgabe (Filoteo & Maddox, 2004). Alle diese Aufgaben wurden über Feedback gelernt. Um den Effekt des Alters auf das belohnungsassoziierte Lernen zu untersuchen, wurde ein Paradigma zum probabilistischen Umkehrungslernen („probabilistic object reversal task“) verwendet, bei dem die Probanden lernten, einen von mehreren Stimuli auszuwählen, der mit einer Belohnung assoziiert war, wobei der Zielreiz im Verlauf des Tests wechselte (Mell, Heekeren, Marschner, Wartenburger, Villringer & Reischies, 2005). Die Autoren konnten zeigen, dass bei älteren Probanden im Vergleich zu jüngeren tatsächlich das Lernen anhand dieser Belohnungen beeinträchtigt war und dass sich dieses Defizit nicht durch bestehende Einschränkungen in den exekutiven Funktionen erklären lässt. Daraus ergibt sich wie aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie der Hinweis, dass die Beeinträchtigung älterer Menschen im Kategorienlernen spezifisch mit dem Feedback-Aspekt des Lernens zu tun hat und nicht in einem generellen Defizit beim Assoziieren zwischen Stimuli und bestimmten Kategorien besteht. Allerdings lassen sich die verwendeten Paradigmen nur schwer vergleichen, denn in der Studie von Mell et al. (2005) mussten die Probanden eine

Reiz-Belohnungs-Verknüpfung lernen *und* eine zuvor verstärkte andere Reaktion unterdrücken.

Der Interpretation der Ergebnisse im Sinne einer altersabhängigen Beeinträchtigung spezifisch bei der Verarbeitung von Verstärkern und Bestrafungen steht jedoch noch die Möglichkeit entgegen, dass das Lernen in beiden Bedingungen unterschiedliche Anforderungen an andere kognitive Abläufe stellt. Diese Überlegung hat wiederum damit zu tun, welche kognitiven Mechanismen genau man beim Lernen der Aufgabe annimmt. Geht man, wie im vorigen Abschnitt diskutiert, von einem vorherrschenden regelbasierten Ansatz aus, bei dem im Verlauf des Lernens verschiedene Hypothesen über die Kategorienzugehörigkeit gebildet, überprüft und wieder verworfen werden, so wird deutlich, dass die Teilnehmer in der Feedback-Bedingung in stärkerem Maße als die Teilnehmer in der Beobachtungsbedingung Hypothesen über die Kategorienzugehörigkeit bilden mussten, denn sie waren in jedem Lerndurchgang gezwungen, eine Entscheidung zu treffen, bevor sie von dem Feedback-Signal profitieren konnten, um zu lernen. Möglicherweise führte dies dazu, dass sie sich in stärkerem Maße festlegten und mehr verschiedene Regeln durch Versuch und Irrtum explizit ausprobieren mussten als die Teilnehmer in der Beobachtungsbedingung, die früher die Chance hatten, bezüglich ihrer Hypothesen „auf die richtige Spur zu kommen“, weil sie gleich die korrekten Zuordnungen sahen. Aus diesen Überlegungen lässt sich ableiten, dass die Feedback-Bedingung höhere Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis und den Wechsel mentaler Kategorien („set shifting“) stellt. Dadurch würde sich ein Defizit der beiden älteren Gruppen speziell in der Feedback-Bedingung erklären lassen, denn diese kognitiven Funktionen sind im Alter beeinträchtigt (Kramer et al., 1999; Kray & Lindenberger, 2000). Weiterhin verstärkte sich die anfängliche Beeinträchtigung der älteren Probanden (und der Parkinsonpatienten) möglicherweise durch einen in der Aufgabe selbst liegenden Grund: Sie bekamen noch im letzten Lernblock bei über 40% der Stimuli ein negatives Feedback, während dies bei den jüngeren Probanden in nur ungefähr 24% der Stimuli der Fall war. Möglicherweise spielte also auch ein motivationaler Unterschied im Verlauf des Lernens eine Rolle.

4.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend sprechen die Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht für eine zentrale Rolle des dopaminergen striatalen Systems beim feedback-basierten Lernen von Kategorien im Allgemeinen. Jedoch wird die Testleistung deutlich von den Feedback-Eigenschaften der Aufgabe beeinflusst. Weiterhin ergaben sich Hinweise darauf, dass im Rahmen altersbedingter kognitiver Veränderungen insbesondere das Lernen durch Feedback betroffen ist.

Insgesamt scheint es von den genauen Aufgabeneigenschaften und der Art, wie in der jeweiligen Aufgabe gelernt wird (explizit und regelbasiert versus implizit/prozedural), abzuhängen, welches System beim Kategorisieren und bei der Verarbeitung von Feedback die zentrale Rolle spielt. In diesem Zusammenhang ist es von großer Bedeutung, genau determinieren zu können, wie eine Aufgabe gelernt wird. Ziel muss es also sein, für entsprechende Studien solche Lernparadigmen auszuwählen bzw. neue zu entwickeln, die eine genaue Beschreibung und Erfassung des Lernvorganges erlauben und möglichst einfach konstruiert sind. Dies stellt einen Schwachpunkt der vorliegenden Studie wie auch vieler anderer in diesem Bereich publizierter Arbeiten dar. Auch wenn mit Hilfe der bisher entwickelten Paradigmen wertvolle Beiträge zum Kategorienlernen geleistet werden konnten, so sind doch die sorgfältige Weiterentwicklung der bestehenden Paradigmen und die Etablierung neuer Aufgaben notwendig, um unser Verständnis der unterschiedlichen Lernsysteme im menschlichen Gehirn zu verbessern.

5 Zusammenfassung der Studie

In der Literatur gibt es eine Reihe von Studien, die darauf hindeuten, dass das dopaminerge striatale System eine wichtige Rolle beim Kategorienlernen, insbesondere beim Lernen durch Feedback, spielt. So konnte z.B. beim probabilistischen Klassifikationslernen die besondere Rolle dieses Systems für das feedback-basierte Lernen anhand von bildgebenden Studien und Studien an Patienten mit Morbus Parkinson nachgewiesen werden. Um zu untersuchen, inwieweit die dopaminerge Dysfunktion beim Morbus Parkinson, aber auch der dopaminerge Verlust im normalen Alterungsprozess die Verarbeitung von Feedback beim Kategorienlernen beeinträchtigt, wurde in der vorliegenden Arbeit eine feedback-basierte und eine Beobachtungsversion derselben visuellen Kategorisierungsaufgabe verwendet. Nachdem in beiden Bedingungen auf unterschiedliche Art gelernt wurde (einmal durch Rückmeldung nach jedem Durchgang und einmal durch das Ansehen der korrekten Zuordnungen von Stimuli und Kategorien), wurde die Kategorisierungsleistung in einer Reihe von Testdurchgängen gemessen, die in beiden Bedingungen identisch abliefen. Es wurden 31 Parkinsonpatienten, 30 ältere gesunde Kontrollprobanden und 20 jüngere gesunde Probanden untersucht. Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen Alterseffekt auf das feedback-basierte Lernen: Während jüngere und ältere Probanden in der Beobachtungsbedingung dieselbe Kategorisierungsleistung zeigen, schneiden die älteren Probanden in der Feedback-Bedingung signifikant schlechter ab als die jüngeren. Jedoch zeigt sich nicht das erwartete spezifische Defizit von Parkinsonpatienten in der Feedback-Bedingung, insgesamt unterscheiden sich Parkinsonpatienten und ältere Kontrollprobanden in ihrer Kategorisierungsleistung nicht. Beide Gruppen zeigten kaum Lernen in der Feedback-Bedingung und eine signifikant bessere Leistung in der Beobachtungsbedingung. Somit sprechen die Ergebnisse gegen die besondere Bedeutung des dopaminergen striatalen Systems für das feedback-basierte Lernen in dem verwendeten Paradigma. Möglicherweise hängt dieses Ergebnismuster damit zusammen, dass in dem verwendeten Paradigma stärker explizit und regelbasiert gelernt wurde und weniger prozedural. Die Bedeutung des dopaminergen striatalen Systems für das feedback-basierte Lernen scheint also von den genauen Aufgabeneigenschaften und der Art, wie gelernt wird, abzuhängen.

6 Literatur

- Alexander, G. E., Crutcher, M. D. & DeLong, M. R. (1990). Basal ganglia-thalamocortical circuits: parallel substrates for motor, oculomotor, "prefrontal" and "limbic" functions. *Progress in Brain Research*, 85, 119-146.
- Aron, A. R., Shohamy, D., Clark, J., Myers, C., Gluck, M. A. & Poldrack, R. A. (2004). Human midbrain sensitivity to cognitive feedback and uncertainty during classification learning. *Journal of Neurophysiology*, 92(2), 1144-1152.
- Ashby, F. G., Alfonso-Reese, L. A., Turken, A. U. & Waldron, E. M. (1998). A neuropsychological theory of multiple systems in category learning. *Psychological Review*, 105(3), 442-481.
- Ashby, F. G. & Casale, M. B. (2002). The cognitive neuroscience of implicit category learning. In L. Jiménez (Ed.), *Attention and implicit learning* (pp. 109-141). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Ashby, F. G. & Ell, S. W. (2001). The neurobiology of human category learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(5), 204-210.
- Ashby, F. G. & Gott, R. E. (1988). Decision rules in the perception and categorization of multidimensional stimuli. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, 14(1), 33-53.
- Ashby, F. G. & Maddox, W. T. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology*, 56, 149-178.
- Ashby, F. G., Maddox, W. T. & Bohil, C. J. (2002). Observational versus feedback training in rule-based and information-integration category learning. *Memory & Cognition*, 30(5), 666-677.
- Ashby, F. G., Noble, S., Filoteo, J. V., Waldron, E. M. & Ell, S. W. (2003). Category learning deficits in Parkinson's disease. *Neuropsychology*, 17(1), 115-124.
- Ashby, F. G. & Valentin, V. V. (2005). Multiple systems of perceptual category learning: theory and cognitive tests. In H. Cohen & C. Lefebvre (Eds.), *Categorization in cognitive science*. New York: Elsevier.
- Ashby, F. G. & Waldron, E. M. (1999). On the nature of implicit categorization. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(3), 363-378.
- Ashby, F. G., Waldron, E. M., Lee, W. W. & Berkman, A. (2001). Suboptimality in human categorization and identification. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130 (1), 77-96.
- Barto, A. G. (1994). Reinforcement learning control. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(6), 888-893.
- Baxter, M. G., Parker, A., Lindner, C. C., Izquierdo, A. D. & Murray, E. A. (2000). Control of response selection by reinforcer value requires interaction of amygdala and orbital prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 20(11), 4311-4319.
- Bayley, P. J., Frascino, J. C. & Squire, L. R. (2005). Robust habit learning in the absence of awareness and independent of the medial temporal lobe. *Nature*, 436(7050), 550-553.
- Beck, A. T., Ward, C. H., Mendelson, M., Mock, J. & Erbaugh, J. (1961). An inventory for measuring depression. *Archives of General Psychiatry*, 4, 561-571.

- Berry, D. C. & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *36*, 209-231.
- Braak, H., Del Tredici, K., Bratzke, H., Hamm-Clement, J., Sandmann-Keil, D. & Rub, U. (2002). Staging of the intracerebral inclusion body pathology associated with idiopathic Parkinson's disease (preclinical and clinical stages). *Journal of Neurology*, *249 Suppl 3*, III/1-5.
- Braak, H., Rub, U., Jansen Steur, E. N., Del Tredici, K. & de Vos, R. A. (2005). Cognitive status correlates with neuropathologic stage in Parkinson disease. *Neurology*, *64*(8), 1404-1410.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K. & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, *17*(3), 1394-1402.
- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J. & Robbins, T. W. (2001a). Enhanced or impaired cognitive function in Parkinson's disease as a function of dopaminergic medication and task demands. *Cerebral Cortex*, *11*(12), 1136-1143.
- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J. & Robbins, T. W. (2001b). Mechanisms of cognitive set flexibility in Parkinson's disease. *Brain*, *124*(Pt 12), 2503-2512.
- Cools, R., Clark, L. & Robbins, T. W. (2004). Differential responses in human striatum and prefrontal cortex to changes in object and rule relevance. *Journal of Neuroscience*, *24*(5), 1129-1135.
- Cox, S. M., Andrade, A. & Johnsrude, I. S. (2005). Learning to like: a role for human orbitofrontal cortex in conditioned reward. *Journal of Neuroscience*, *25*(10), 2733-2740.
- Damier, P., Hirsch, E. C., Agid, Y. & Graybiel, A. M. (1999). The substantia nigra of the human brain. II. Patterns of loss of dopamine-containing neurons in Parkinson's disease. *Brain*, *122* (Pt 8), 1437-1448.
- Daum, I., Schugens, M. M., Spieker, S., Poser, U., Schonle, P. W. & Birbaumer, N. (1995). Memory and skill acquisition in Parkinson's disease and frontal lobe dysfunction. *Cortex*, *31*(3), 413-432.
- Deakin, J., Aitken, M., Robbins, T. & Sahakian, B. J. (2004). Risk taking during decision-making in normal volunteers changes with age. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *10*(4), 590-598.
- Delgado, M. R., Miller, M. M., Inati, S. & Phelps, E. A. (2005). An fMRI study of reward-related probability learning. *Neuroimage*, *24*(3), 862-873.
- Delgado, M. R., Nystrom, L. E., Fissell, C., Noll, D. C. & Fiez, J. A. (2000). Tracking the hemodynamic responses to reward and punishment in the striatum. *Journal of Neurophysiology*, *84*(6), 3072-3077.
- Delgado, M. R., Stenger, V. A. & Fiez, J. A. (2004). Motivation-dependent responses in the human caudate nucleus. *Cerebral Cortex*, *14*(9), 1022-1030.
- Dienes, Z. & Berry, D. C. (1997). Implicit learning: Below the subjective threshold. *Psychonomic Bulletin & Review*, *4*(1), 2-23.
- Dubois, B. & Pillon, B. (1997). Cognitive deficits in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, *244*(1), 2-8.

- Ebersbach, G., Trottenberg, T., Hattig, H., Schelosky, L., Schrag, A. & Poewe, W. (1996). Directional bias of initial visual exploration. A symptom of neglect in Parkinson's disease. *Brain*, *119* (Pt 1), 79-87.
- Ell, S. W., Marchant, N. L. & Ivry, R. B. (2006). Focal putamen lesions impair learning in rule-based, but not information-integration categorization tasks. *Neuropsychologia*, *44*(10), 1737-1751.
- Fera, F., Weickert, T. W., Goldberg, T. E., Tessitore, A., Hariri, A., Das, S., Lee, S., Zolnick, B., Meeter, M., Myers, C. E., Gluck, M. A., Weinberger, D. R. & Mattay, V. S. (2005). Neural mechanisms underlying probabilistic category learning in normal aging. *Journal of Neuroscience*, *25*(49), 11340-11348.
- Filoteo, J. V. & Maddox, W. T. (1999). Quantitative modeling of visual attention processes in patients with Parkinson's disease: effects of stimulus integrality on selective attention and dimensional integration. *Neuropsychology*, *13*(2), 206-222.
- Filoteo, J. V. & Maddox, W. T. (2004). A quantitative model-based approach to examining aging effects on information-integration category learning. *Psychology and Aging*, *19*(1), 171-182.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T. & Davis, J. D. (2001a). A possible role of the striatum in linear and nonlinear category learning: evidence from patients with Huntington's disease. *Behavioral Neuroscience*, *115*(4), 786-798.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T. & Davis, J. D. (2001b). Quantitative modeling of category learning in amnesic patients. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *7*(1), 1-19.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T., Ing, A. D. & Song, D. D. (2007). Characterizing rule-based category learning deficits in patients with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, *45*(2), 305-320.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T., Ing, A. D., Zizak, V. & Song, D. D. (2005a). The impact of irrelevant dimensional variation on rule-based category learning in patients with Parkinson's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *11*(5), 503-513.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T., Salmon, D. P. & Song, D. D. (2005b). Information-integration category learning in patients with striatal dysfunction. *Neuropsychology*, *19*(2), 212-222.
- Filoteo, J. V., Maddox, W. T., Simmons, A. N., Ing, A. D., Cagigas, X. E., Matthews, S. & Paulus, M. P. (2005c). Cortical and subcortical brain regions involved in rule-based category learning. *Neuroreport*, *16*(2), 111-115.
- Frank, M. J. (2005). Dynamic dopamine modulation in the basal ganglia: a neurocomputational account of cognitive deficits in medicated and nonmedicated Parkinsonism. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(1), 51-72.
- Frank, M. J., Scheres, A. & Sherman, S. J. (in press). Understanding decision making deficits in neurological conditions: Insights from models of natural action selection. *Philosophical Transactions of the Royal Society -B*.
- Frank, M. J., Seeberger, L. C. & O'Reilly R, C. (2004). By carrot or by stick: cognitive reinforcement learning in parkinsonism. *Science*, *306*(5703), 1940-1943.

- Galvan, A., Hare, T. A., Davidson, M., Spicer, J., Glover, G. & Casey, B. J. (2005). The role of ventral frontostriatal circuitry in reward-based learning in humans. *Journal of Neuroscience*, 25(38), 8650-8656.
- Gluck, M. A., Shohamy, D. & Myers, C. (2002). How do people solve the "weather prediction" task?: individual variability in strategies for probabilistic category learning. *Learning & Memory*, 9(6), 408-418.
- Gotham, A. M., Brown, R. G. & Marsden, C. D. (1988). 'Frontal' cognitive function in patients with Parkinson's disease 'on' and 'off' levodopa. *Brain*, 111 (Pt 2), 299-321.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Bookstein, F., Horwitz, B., Rapoport, S. I. & Haxby, J. V. (1998). Age-related changes in regional cerebral blood flow during working memory for faces. *Neuroimage*, 8(4), 409-425.
- Haider, H. (1992). Implizites Wissen und Lernen. Ein Artefakt? *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1, 68-100.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., Yeo, R. A. & Marder, E. (1990). Procedural memory in Parkinson's disease: impaired motor but not visuoperceptual learning. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12(2), 323-339.
- Hartman, M., Knopman, D. S. & Nissen, M. J. (1989). Implicit learning of new verbal associations. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, 15(6), 1070-1082.
- Haruno, M., Kuroda, T., Doya, K., Toyama, K., Kimura, M., Samejima, K., Imamizu, H. & Kawato, M. (2004). A neural correlate of reward-based behavioral learning in caudate nucleus: a functional magnetic resonance imaging study of a stochastic decision task. *Journal of Neuroscience*, 24(7), 1660-1665.
- Herrero, M. T., Barcia, C. & Navarro, J. M. (2002). Functional anatomy of thalamus and basal ganglia. *Child's Nervous System*, 18(8), 386-404.
- Hoehn, M. M. & Yahr, M. D. (2001). Parkinsonism: onset, progression, and mortality. 1967. *Neurology*, 57(10 Suppl 3), S11-26.
- Hollerman, J. R. & Schultz, W. (1998). Dopamine neurons report an error in the temporal prediction of reward during learning. *Nature Neuroscience*, 1(4), 304-309.
- Hood, K. L., Postle, B. R. & Corkin, S. (1999). An evaluation of the concurrent discrimination task as a measure of habit learning: performance of amnesic subjects. *Neuropsychologia*, 37(12), 1375-1386.
- Hopkins, R. O., Myers, C. E., Shohamy, D., Grossman, S. & Gluck, M. (2004). Impaired probabilistic category learning in hypoxic subjects with hippocampal damage. *Neuropsychologia*, 42(4), 524-535.
- Hufschmidt, A. & Lücking, C. H. (2003). *Neurologie compact*. Stuttgart: Thieme.
- Hughes, A. J., Daniel, S. E., Kilford, L. & Lees, A. J. (1992). Accuracy of clinical diagnosis of idiopathic Parkinson's disease: a clinico-pathological study of 100 cases. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 55(3), 181-184.
- Jackson, G. M., Jackson, S. R., Harrison, J., Henderson, L. & Kennard, C. (1995). Serial reaction time learning and Parkinson's disease: evidence for a procedural learning deficit. *Neuropsychologia*, 33(5), 577-593.

- Jernigan, T. L., Archibald, S. L., Fennema-Notestine, C., Gamst, A. C., Stout, J. C., Bonner, J. & Hesselink, J. R. (2001). Effects of age on tissues and regions of the cerebrum and cerebellum. *Neurobiology of Aging*, 22(4), 581-594.
- Kaasinen, V., Kempainen, N., Nagren, K., Helenius, H., Kurki, T. & Rinne, J. O. (2002). Age-related loss of extrastriatal dopamine D(2) -like receptors in women. *Journal of Neurochemistry*, 81(5), 1005-1010.
- Kaasinen, V., Vilkmann, H., Hietala, J., Nagren, K., Helenius, H., Olsson, H., Farde, L. & Rinne, J. (2000). Age-related dopamine D2/D3 receptor loss in extrastriatal regions of the human brain. *Neurobiology of Aging*, 21(5), 683-688.
- Keri, S. (2003). The cognitive neuroscience of category learning. *Brain Research Reviews*, 43(1), 85-109.
- Keri, S., Beniczky, S., Voros, E., Janka, Z., Benedek, G. & Vecsei, L. (2002). Dissociation between attentional set shifting and habit learning: a longitudinal case study. *Neurocase*, 8(3), 219-225.
- Keri, S., Szlobodnyik, C., Benedek, G., Janka, Z. & Gadoros, J. (2002). Probabilistic classification learning in Tourette syndrome. *Neuropsychologia*, 40(8), 1356-1362.
- Kerkhoff, G. & Marquardt, C. (1995). VS--a new computer program for detailed offline analysis of visual-spatial perception. *Journal of Neuroscience Methods*, 63(1-2), 75-84.
- Knowlton, B. J., Mangels, J. A. & Squire, L. R. (1996a). A neostriatal habit learning system in humans. *Science*, 273(5280), 1399-1402.
- Knowlton, B. J. & Squire, L. R. (1993). The learning of categories: parallel brain systems for item memory and category knowledge. *Science*, 262(5140), 1747-1749.
- Knowlton, B. J. & Squire, L. R. (1996). Artificial grammar learning depends on implicit acquisition of both abstract and exemplar-specific information. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, 22(1), 169-181.
- Knowlton, B. J., Squire, L. R. & Gluck, M. A. (1994). Probabilistic classification learning in amnesia. *Learning & Memory*, 1(2), 106-120.
- Knowlton, B. J., Squire, L. R., Paulsen, J. S., Swerdlow, N. R., Swenson, M. & Butters, N. (1996b). Dissociations within nondeclarative memory in Huntington's disease. *Neuropsychology*, 10(4), 538-548.
- Koenig, O., Thomas-Anterion, C. & Laurent, B. (1999). Procedural learning in Parkinson's disease: intact and impaired cognitive components. *Neuropsychologia*, 37(10), 1103-1109.
- Kolb, B. & Whishaw, I. Q. (1996). *Neuropsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kramer, A. F., Hahn, S. & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica*, 101(2-3), 339-378.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging*, 15(1), 126-147.

- Kunig, G., Leenders, K. L., Martin-Solch, C., Missimer, J., Magyar, S. & Schultz, W. (2000). Reduced reward processing in the brains of Parkinsonian patients. *Neuroreport*, *11*(17), 3681-3687.
- Lees, A. J. & Smith, E. (1983). Cognitive deficits in the early stages of Parkinson's disease. *Brain*, *106* (Pt 2), 257-270.
- Lehrl, S., Triebig, G. & Fischer, B. (1995). Multiple choice vocabulary test MWT as a valid and short test to estimate premorbid intelligence. *Acta Neurologica Scandinavica*, *91*(5), 335-345.
- MacPherson, S. E., Phillips, L. H. & Della Sala, S. (2002). Age, executive function, and social decision making: a dorsolateral prefrontal theory of cognitive aging. *Psychology and Aging*, *17*(4), 598-609.
- Maddox, W. T., Aparicio, P., Marchant, N. L. & Ivry, R. B. (2005). Rule-based category learning is impaired in patients with Parkinson's disease but not in patients with cerebellar disorders. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(5), 707-723.
- Maddox, W. T., Ashby, F. G. & Bohil, C. J. (2003). Delayed feedback effects on rule-based and information-integration category learning. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, *29*(4), 650-662.
- Maddox, W. T., Ashby, F. G., Ing, A. D. & Pickering, A. D. (2004). Disrupting feedback processing interferes with rule-based but not information-integration category learning. *Memory & Cognition*, *32*(4), 582-591.
- Maddox, W. T. & Filoteo, J. V. (2001). Striatal contributions to category learning: quantitative modeling of simple linear and complex nonlinear rule learning in patients with Parkinson's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *7*(6), 710-727.
- Maddox, W. T., Filoteo, J. V., Delis, D. C., Salmon, D. P. (1996). Visual selective attention deficits in patients with Parkinson's disease: A quantitative model-based approach. *Neuropsychology*, *10*(2), 197-218.
- Maddox, W. T. & Ing, A. D. (2005). Delayed feedback disrupts the procedural-learning system but not the hypothesis-testing system in perceptual category learning. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, *31*(1), 100-107.
- Marschner, A., Mell, T., Wartenburger, I., Villringer, A., Reischies, F. M. & Heekeren, H. R. (2005). Reward-based decision-making and aging. *Brain Research Bulletin*, *67*(5), 382-390.
- Marsh, L., McDonald, W. M., Cummings, J. & Ravina, B. (2006). Provisional diagnostic criteria for depression in Parkinson's disease: report of an NINDS/NIMH Work Group. *Movement Disorders*, *21*(2), 148-158.
- Mattay, V. S., Tessitore, A., Callicott, J. H., Bertolino, A., Goldberg, T. E., Chase, T. N., Hyde, T. M. & Weinberger, D. R. (2002). Dopaminergic modulation of cortical function in patients with Parkinson's disease. *Annals of Neurology*, *51*(2), 156-164.
- Mattis, S. (1988). *Dementia rating scale*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources Inc.

- McClelland, J. L. (1998). Complementary learning systems in the brain. A connectionist approach to explicit and implicit cognition and memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 843, 153-169.
- Meeter, M., Myers, C. E., Shohamy, D., Hopkins, R. O. & Gluck, M. A. (2006). Strategies in probabilistic categorization: results from a new way of analyzing performance. *Learning & Memory*, 13(2), 230-239.
- Mell, T., Heekeren, H. R., Marschner, A., Wartenburger, I., Villringer, A. & Reischies, F. M. (2005). Effect of aging on stimulus-reward association learning. *Neuropsychologia*, 43(4), 554-563.
- Meulemans, T. & Van der Linden, M. (2003). Implicit learning of complex information in amnesia. *Brain and Cognition*, 52(2), 250-257.
- Monchi, O., Petrides, M., Doyon, J., Postuma, R. B., Worsley, K. & Dagher, A. (2004). Neural bases of set-shifting deficits in Parkinson's disease. *Journal of Neuroscience*, 24(3), 702-710.
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K. & Dagher, A. (2001). Wisconsin Card Sorting revisited: distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741.
- Monchi, O., Petrides, M., Strafella, A. P., Worsley, K. J. & Doyon, J. (2006). Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Annals of Neurology*, 59(2), 257-264.
- Moody, T. D., Bookheimer, S. Y., Vanek, Z. & Knowlton, B. J. (2004). An implicit learning task activates medial temporal lobe in patients with Parkinson's disease. *Behavioral Neuroscience*, 118(2), 438-442.
- Myers, C. E., Shohamy, D., Gluck, M. A., Grossman, S., Kluger, A., Ferris, S., Golomb, J., Schnirman, G. & Schwartz, R. (2003). Dissociating hippocampal versus basal ganglia contributions to learning and transfer. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(2), 185-193.
- Nakano, K., Kayahara, T., Tsutsumi, T. & Ushiro, H. (2000). Neural circuits and functional organization of the striatum. *Journal of Neurology*, 247 Suppl 5, V1-15.
- Nissen, M. J. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.
- Nomura, E. M., Maddox, W. T., Filoteo, J. V., Ing, A. D., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Mesulam, M. M. & Reber, P. J. (2007). Neural correlates of rule-based and information-integration visual category learning. *Cerebral Cortex*, 17(1), 37-43.
- O'Doherty, J., Dayan, P., Schultz, J., Deichmann, R., Friston, K. & Dolan, R. J. (2004). Dissociable roles of ventral and dorsal striatum in instrumental conditioning. *Science*, 304(5669), 452-454.
- Owen, A. M. (2004). Cognitive dysfunction in Parkinson's disease: the role of frontostriatal circuitry. *Neuroscientist*, 10(6), 525-537.
- Packard, M. G., Hirsh, R. & White, N. M. (1989). Differential effects of fornix and caudate nucleus lesions on two radial maze tasks: evidence for multiple memory systems. *Journal of Neuroscience*, 9(5), 1465-1472.

- Pascual-Leone, A., Grafman, J., Clark, K., Stewart, M., Massaquoi, S., Lou, J. S. & Hallett, M. (1993). Procedural learning in Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Annals of Neurology*, 34(4), 594-602.
- Peigneux, P., Meulemans, T., Van der Linden, M., Salmon, E. & Petit, H. (1999). Exploration of implicit artificial grammar learning in Parkinson's disease. *Acta Neurologica Belgica*, 99(2), 107-117.
- Pillon, B., Dubois, B., Bonnet, A. M., Esteguy, M., Guimaraes, J., Vigouret, J. M., Lhermitte, F. & Agid, Y. (1989). Cognitive slowing in Parkinson's disease fails to respond to levodopa treatment: the 15-objects test. *Neurology*, 39(6), 762-768.
- Pillon, B., Dubois, B., Cusimano, G., Bonnet, A. M., Lhermitte, F. & Agid, Y. (1989). Does cognitive impairment in Parkinson's disease result from non-dopaminergic lesions? *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 52(2), 201-206.
- Poewe, W. & Luginger, E. (1999). Depression in Parkinson's disease: impediments to recognition and treatment options. *Neurology*, 52(7 Suppl 3), S2-6.
- Poldrack, R. A., Clark, J., Pare-Blagoev, E. J., Shohamy, D., Creso Moyano, J., Myers, C. & Gluck, M. A. (2001). Interactive memory systems in the human brain. *Nature*, 414(6863), 546-550.
- Poldrack, R. A. & Packard, M. G. (2003). Competition among multiple memory systems: converging evidence from animal and human brain studies. *Neuropsychologia*, 41(3), 245-251.
- Poldrack, R. A., Prabhakaran, V., Seger, C. A. & Gabrieli, J. D. (1999). Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology*, 13(4), 564-574.
- Price, A. L. (2005). Cortico-striatal contributions to category learning: dissociating the verbal and implicit systems. *Behavioral Neuroscience*, 119(6), 1438-1447.
- Racine, C. A., Barch, D. M., Braver, T. S. & Noelle, D. C. (2006). The effect of age on rule-based category learning. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 13(3-4), 411-434.
- Rao, S. M., Bobholz, J. A., Hammeke, T. A., Rosen, A. C., Woodley, S. J., Cunningham, J. M., Cox, R. W., Stein, E. A. & Binder, J. R. (1997). Functional MRI evidence for subcortical participation in conceptual reasoning skills. *Neuroreport*, 8(8), 1987-1993.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219 - 235.
- Reber, P. J. & Squire, L. R. (1994). Parallel brain systems for learning with and without awareness. *Learning & Memory*, 1 (4), 217-229.
- Reber, P. J. & Squire, L. R. (1999). Intact learning of artificial grammars and intact category learning by patients with Parkinson's disease. *Behavioral Neuroscience*, 113(2), 235-242.
- Rodriguez, P. F., Aron, A. R. & Poldrack, R. A. (2006). Ventral-striatal/nucleus-accumbens sensitivity to prediction errors during classification learning. *Human Brain Mapping*, 27(4), 306-313.

- Rolls, E. T. (1994). Neurophysiology and cognitive functions of the striatum. *Revue Neurologique*, 150(8-9), 648-660.
- Rose, M., Haider, H., Weiller, C. & Buchel, C. (2002). The role of medial temporal lobe structures in implicit learning: an event-related fMRI study. *Neuron*, 36(6), 1221-1231.
- Rose, M., Haider, H., Weiller, C. & Buchel, C. (2004). The relevance of the nature of learned associations for the differentiation of human memory systems. *Learning & Memory*, 11(2), 145-152.
- Salmon, D. P. & Butters, N. (1995). Neurobiology of skill and habit learning. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), 184-190.
- Sandmann-Keil, D. & Braak, H. (2005). Zur postmortalen Diagnose des idiopathischen Morbus Parkinson. *Pathologie*, 26(3), 214-220.
- Sarazin, M., Deweer, B., Merkl, A., Von Poser, N., Pillon, B. & Dubois, B. (2002). Procedural learning and striatofrontal dysfunction in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 17(2), 265-273.
- Schacter, D. L., Chiu, C. Y. & Ochsner, K. N. (1993). Implicit memory: a selective review. *Annual Review of Neuroscience*, 16, 159-182.
- Schacter, D. L., Savage, C. R., Alpert, N. M., Rauch, S. L. & Albert, M. S. (1996). The role of hippocampus and frontal cortex in age-related memory changes: a PET study. *Neuroreport*, 7(6), 1165-1169.
- Schultz, W. (2002). Getting formal with dopamine and reward. *Neuron*, 36(2), 241-263.
- Schultz, W., Tremblay, L. & Hollerman, J. R. (2000). Reward processing in primate orbitofrontal cortex and basal ganglia. *Cerebral Cortex*, 10(3), 272-284.
- Seger, C. A. (1994). Implicit learning. *Psychological Bulletin*, 115(2), 163-196.
- Seger, C. A. (2006). The basal ganglia in human learning. *Neuroscientist*, 12(4), 285-290.
- Seger, C. A. & Cincotta, C. M. (2002). Striatal activity in concept learning. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2(2), 149-161.
- Seger, C. A. & Cincotta, C. M. (2005). The roles of the caudate nucleus in human classification learning. *Journal of Neuroscience*, 25(11), 2941-2951.
- Seger, C. A. & Cincotta, C. M. (2006). Dynamics of frontal, striatal, and hippocampal systems during rule learning. *Cerebral Cortex*, 16(11), 1546-1555.
- Seger, C. A., Prabhakaran, V., Poldrack, R. A. & Gabrieli, J. D. (2000). Neuronal activity differs between explicit and implicit learning of artificial grammar strings: An fMRI study. *Psychobiology*, 283(283), 283-292.
- Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A. & Poldrack, R. A. (2004a). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain*, 127(Pt 4), 851-859.
- Shohamy, D., Myers, C. E., Onlaor, S. & Gluck, M. A. (2004b). Role of the basal ganglia in category learning: how do patients with Parkinson's disease learn? *Behavioral Neuroscience*, 118(4), 676-686.

- Skosnik, P. D., Mirza, F., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., Mesulam, M. M. & Reber, P. J. (2002). Neural correlates of artificial grammar learning. *Neuroimage*, *17*(3), 1306-1314.
- Smith, E. E., Patalano, A. L. & Jonides, J. (1998). Alternative strategies of categorization. *Cognition*, *65*(2-3), 167-196.
- Smith, J., Siegert, R. J., McDowall, J. & Abernethy, D. (2001). Preserved implicit learning on both the serial reaction time task and artificial grammar in patients with Parkinson's disease. *Brain and Cognition*, *45*(3), 378-391.
- Smith, J. G. & McDowall, J. (2006). The implicit sequence learning deficit in patients with Parkinson's disease: a matter of impaired sequence integration? *Neuropsychologia*, *44*(2), 275-288.
- Squire, L. R. & Zola-Morgan, M. (1990). Cognitive skill learning in amnesia. *Psychobiology*, *18* (1), 109-117.
- Squire, L. R., Knowlton, B. & Musen, G. (1993). The structure and organization of memory. *Annual Review of Psychology*, *44*, 453-495.
- Squire, L. R. & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*(24), 13515-13522.
- Starkstein, S. E. & Merello, M. (2002). *Psychiatric and cognitive disorders in Parkinson' disease*. Cambridge: University Press.
- Strange, B. A., Henson, R. N., Friston, K. J. & Dolan, R. J. (2001). Anterior prefrontal cortex mediates rule learning in humans. *Cerebral Cortex*, *11*(11), 1040-1046.
- Swainson, R., Rogers, R. D., Sahakian, B. J., Summers, B. A., Polkey, C. E. & Robbins, T. W. (2000). Probabilistic learning and reversal deficits in patients with Parkinson's disease or frontal or temporal lobe lesions: possible adverse effects of dopaminergic medication. *Neuropsychologia*, *38*(5), 596-612.
- van Dyck, C. H., Seibyl, J. P., Malison, R. T., Laruelle, M., Zoghbi, S. S., Baldwin, R. M. & Innis, R. B. (2002). Age-related decline in dopamine transporters: analysis of striatal subregions, nonlinear effects, and hemispheric asymmetries. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *10*(1), 36-43.
- Villardita, C., Smirni, P. & Zappala, G. (1983). Visual neglect in Parkinson's disease. *Archives of Neurology*, *40*(12), 737-739.
- Volkow, N. D., Gur, R. C., Wang, G. J., Fowler, J. S., Moberg, P. J., Ding, Y. S., Hitzemann, R., Smith, G. & Logan, J. (1998). Association between decline in brain dopamine activity with age and cognitive and motor impairment in healthy individuals. *American Journal of Psychiatry*, *155*(3), 344-349.
- Waldron, E. M. & Ashby, F. G. (2001). The effects of concurrent task interference on category learning: evidence for multiple category learning systems. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(1), 168-176.
- Wichmann, T. & DeLong, M. R. (2003). Pathophysiology of Parkinson's disease: the MPTP primate model of the human disorder. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *991*, 199-213.

- Willingham, D. B., Nissen, M. J. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, 15(6), 1047-1060.
- Witt, K., Daniels, C., Daniel, V., Schmitt-Eliassen, J., Volkmann, J. & Deuschl, G. (2006). Patients with Parkinson's disease learn to control complex systems - an indication for intact implicit cognitive skill learning. *Neuropsychologia*, 44 (12), 2445-2451.
- Witt, K., Nuhsman, A. & Deuschl, G. (2002a). Dissociation of habit-learning in Parkinson's and cerebellar disease. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 493-499.
- Witt, K., Nuhsman, A. & Deuschl, G. (2002b). Intact artificial grammar learning in patients with cerebellar degeneration and advanced Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 40(9), 1534-1540.
- Yin, H. H. & Knowlton, B. J. (2006). The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(6), 464-476.
- Yin, H. H., Knowlton, B. J. & Balleine, B. W. (2004). Lesions of dorsolateral striatum preserve outcome expectancy but disrupt habit formation in instrumental learning. *European Journal of Neuroscience*, 19(1), 181-189.
- Zink, C. F., Pagnoni, G., Martin-Skurski, M. E., Chappelow, J. C. & Berns, G. S. (2004). Human striatal responses to monetary reward depend on saliency. *Neuron*, 42(3), 509-517.

7 Danksagung

Es gibt eine ganze Reihe von Menschen, die an der Entstehung dieser Arbeit auf die eine oder andere Weise beteiligt waren, und ihnen allen möchte ich danken. Im Einzelnen sind dies Professor Roman Ferstl, der als Betreuer die Entstehung der Arbeit unterstützt und begleitet hat, immer ein offenes Ohr für Fragen hatte und mir vor allem durch seine konstruktive und grundlegend positive Haltung das Vorankommen sehr erleichtert hat. Besonders wichtig war außerdem die Zusammenarbeit mit meinem Betreuer in der Klinik für Neurologie, PD Dr. Karsten Witt, der mich an seinem Wissen über die neuropsychologischen Aspekte des Morbus Parkinson hat teilhaben lassen. Er hatte einen großen Anteil an der Entwicklung der Fragestellung und hat das Lernparadigma programmiert. Und er war eine große Hilfe dabei, auch in Phasen des Zweifels Kurs zu halten. Dank geht auch an Professor Günther Deuschl, den Direktor der Klinik für Neurologie, für die Unterstützung bei dem Projekt. Dr. Christian Wiesner hat bei der Planung der Studie und der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse wertvolle Anregungen beigesteuert und war bei Fragen eine Hilfe. Vielen Dank auch an Dr. Daniel Wollschläger für die methodische Beratung und das Programm zur Generierung der Stimuli.

Vielen Dank an alle Teilnehmer der Studie für die Geduld beim Sortieren. Ohne ihre Bereitschaft zur Teilnahme wäre eine empirische Studie wie diese ohnehin unmöglich. Der Dank geht an die vielen Patienten und ihre Angehörigen, aber auch an Kollegen, Verwandte und Freunde, die an der Studie teilgenommen oder verschiedene Vorversionen des Tests ausprobiert haben.

Meiner Mutter Carola Fandel ist die stilistische und orthographische Korrektur der Arbeit zu verdanken, und sie hat ihren halben Bekanntenkreis als Versuchspersonen rekrutiert und mich auch in allen anderen Bereichen immer unterstützt. Vielen Dank an meinen Mann Terje Schmitt-Eliassen für die Hilfe bei der Formatierung, für die Motivationsförderung und vor allem für alles andere.

Vielen Dank auch an alle Freunde fürs Nachfragen zur richtigen Zeit, für die aufbauenden Worte und auch fürs Nicht-Nachfragen zur richtigen Zeit.

Anhang A: Beck Depressionsinventar (BDI)

Falls mehrere Aussagen gleichermaßen zutreffen, können Sie auch mehrere Ziffern markieren.

Lesen Sie auf jeden Fall alle Aussagen in jeder Gruppe, bevor Sie Ihre Wahl treffen.

A

- 0 Ich bin nicht traurig.
- 1 Ich bin traurig.
- 2 Ich bin die ganze Zeit traurig und komme nicht davon los.
- 3 Ich bin so traurig oder unglücklich, dass ich es kaum noch ertrage.

B

- 0 Ich sehe nicht besonders mutlos in die Zukunft.
- 1 Ich sehe mutlos in die Zukunft.
- 2 Ich habe nichts, worauf ich mich freuen kann.
- 3 Ich habe das Gefühl, dass die Zukunft hoffnungslos ist und dass die Situation nicht besser werden kann.

C

- 0 Ich fühle mich nicht als Versager.
- 1 Ich habe das Gefühl, öfter versagt zu haben als der Durchschnitt.
- 2 Wenn ich auf mein Leben zurückblicke, sehe ich bloß eine Menge Fehlschläge.
- 3 Ich habe das Gefühl, als Mensch ein völliger Versager zu sein.

D

- 0 Ich kann die Dinge genauso genießen wie früher.
- 1 Ich kann die Dinge nicht mehr so genießen wie früher.
- 2 Ich kann aus nichts mehr eine echte Befriedigung ziehen.
- 3 Ich bin mit allem unzufrieden oder gelangweilt.

E

- 0 Ich habe keine Schuldgefühle.
- 1 Ich habe häufig Schuldgefühle.
- 2 Ich habe fast immer Schuldgefühle.
- 3 Ich habe immer Schuldgefühle.

F

- 0 Ich habe nicht das Gefühl, gestraft zu sein.
- 1 Ich habe das Gefühl, vielleicht bestraft zu werden.
- 2 Ich erwarte, bestraft zu werden.
- 3 Ich habe das Gefühl, bestraft zu sein.

G

- 0 Ich bin nicht von mir enttäuscht.
- 1 Ich bin von mir enttäuscht.
- 2 Ich finde mich fürchterlich.
- 3 Ich hasse mich.

H

- 0 Ich habe nicht das Gefühl, schlechter zu sein als alle anderen.
- 1 Ich kritisiere mich wegen meiner Fehler und Schwächen.
- 2 Ich mache mir die ganze Zeit Vorwürfe wegen meiner Mängel.
- 3 Ich gebe mir für alles die Schuld, was schiefgeht.

I

- 0 Ich denke nicht daran, mir etwas anzutun.
- 1 Ich denke manchmal an Selbstmord, aber ich würde es nicht tun.
- 2 Ich möchte mich am liebsten umbringen.
- 3 Ich würde mich umbringen, wenn ich die Gelegenheit hätte.

J

- 0 Ich weine nicht öfter als früher.
- 1 Ich weine jetzt mehr als früher.
- 2 Ich weine die ganze Zeit.
- 3 Früher konnte ich weinen, aber jetzt kann ich es nicht mehr, obwohl ich es möchte.

K

- 0 Ich bin nicht reizbarer als sonst.
- 1 Ich bin jetzt leichter verärgert oder gereizt als früher.
- 2 Ich fühle mich dauernd gereizt.
- 3 Die Dinge, die mich früher geärgert haben, berühren mich nicht mehr.

L

- 0 Ich habe nicht das Interesse an Menschen verloren.
- 1 Ich interessiere mich jetzt weniger für Menschen als früher.
- 2 Ich habe mein Interesse an anderen Menschen zum größten Teil verloren.
- 3 Ich habe mein ganzes Interesse an anderen Menschen verloren.

M

- 0 Ich bin so entschlossfreudig wie immer.
- 1 Ich schiebe Entscheidungen jetzt öfter als früher auf.
- 2 Es fällt mir jetzt schwerer als früher, Entscheidungen zu treffen.
- 3 Ich kann überhaupt keine Entscheidungen mehr treffen.

N

- 0 Ich habe nicht das Gefühl, schlechter auszusehen als früher.
- 1 Ich mache mir Sorgen, dass ich alt oder unattraktiv aussehe.
- 2 Ich habe das Gefühl, dass Veränderungen in meinem Aussehen eintreten, die mich hässlich machen.
- 3 Ich finde mich hässlich.

O

- 0 Ich kann so gut arbeiten wie früher.
- 1 Ich muss mir einen Ruck geben, bevor ich eine Tätigkeit in Angriff nehme.
- 2 Ich muss mich zu jeder Tätigkeit zwingen.
- 3 Ich bin unfähig zu arbeiten.

P

- 0 Ich schlafe so gut wie sonst.
- 1 Ich schlafe nicht mehr so gut wie früher.
- 2 Ich wache 1 bis 2 Stunden früher auf als sonst, und es fällt mir schwer, wieder einzuschlafen.
- 3 Ich wache mehrere Stunden früher auf als sonst und kann nicht mehr einschlafen.

Q

- 0 Ich ermüde nicht stärker als sonst.
- 1 Ich ermüde schneller als früher.
- 2 Fast alles ermüdet mich.
- 3 Ich bin zu müde, um etwas zu tun.

R

- 0 Mein Appetit ist nicht schlechter als sonst.
- 1 Mein Appetit ist nicht mehr so gut wie früher.
- 2 Mein Appetit hat sehr stark nachgelassen.
- 3 Ich habe überhaupt keinen Appetit mehr.

S

- 0 Ich habe in letzter Zeit kaum abgenommen.
- 1 Ich habe mehr als 2 Kilo abgenommen.
- 2 Ich habe mehr als 5 Kilo abgenommen.
- 3 Ich habe mehr als 8 Kilo abgenommen.

Ich esse absichtlich weniger, um abzunehmen.

Ja Nein

T

- 0 Ich mache mir keine größeren Sorgen um meine Gesundheit als sonst.
- 1 Ich mache mir Sorgen über körperliche Probleme wie Schmerzen, Magenbeschwerden oder Verstopfung.
- 2 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, dass es mir schwerfällt, an etwas anderes zu denken.
- 3 Ich mache mir so große Sorgen über gesundheitliche Probleme, dass ich an nichts anderes mehr denken kann.

U

- 0 Ich habe in letzter Zeit keine Veränderung meines Interesses an Sex bemerkt.
- 1 Ich interessiere mich weniger für Sex als früher.
- 2 Ich interessiere mich jetzt viel weniger für Sex.
- 3 Ich habe das Interesse an Sex völlig verloren.

Anhang B: Mattis Demenz Skala

I. Aufmerksamkeit und Konzentration

	Punkte	MAX.
A. Zahlenreihen Vorwärts: 25, 316, 4792 Rückwärts: 14, 539, 8593		(8)
B. Befolgen von 2 aufeinanderfolgenden Befehlen: 1. Öffnen Sie den Mund und schließen Sie die Augen. 2. Strecken Sie die Zunge heraus und heben Sie die Hand. (1 Punkte für jede richtige Aufgabe)		(2)

Falls der Patient beide Aufgaben richtig erfüllt, können C und D übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX.
C. Befolgen eines verbalen Befehls: 1. Öffnen Sie Ihren Mund. 2. Strecken Sie die Zunge heraus. 3. Schließen Sie die Augen. 4. Heben Sie die rechte Hand. (1 Punkt für jede richtig ausgeführte Aufgabe)		(4)
D. Nachahmen 1. Öffnen Sie Ihren Mund. 2. Strecken Sie die Zunge heraus. 3. Schließen Sie die Augen. 4. Heben Sie die rechte Hand. (1 Punkt für jede richtig ausgeführte Aufgabe)		(4)

II/A. verbal

	Punkte	MAX.
<p>1. Darf ich Sie bitten, alle jene Dinge aufzuzählen, die Sie in einem Supermarkt finden bzw. kaufen können; nennen Sie so viele verschiedene Dinge wie möglich. Sie haben eine Minute Zeit.</p> <p>(Score = Zahl der aufgezählten richtigen Gegenstände in 1 Minute, aber nicht mehr als 20)</p>		(20)

(Wenn 14 oder mehr der Gegenstände genannt werden, können die Punkte 2, 3 und 4 übersprungen und maximal bewertet werden.)

	Punkte	MAX
<p>2. Schauen Sie, wie ich gekleidet bin. Ich würde Sie bitten, alle Kleidungsstücke aufzuzählen, die ich trage. Beispiel geben wie „Mantel, Schuhe“ ist erlaubt.</p> <p>(Score = Zahl der aufgezählten richtigen Gegenstände in 1 Minute, aber nicht mehr als 8)</p>		(8)
<p>3. Wiederholen Sie bitte „da... sah... nah...“.</p> <p>Jetzt sagen Sie „da, sah, nah“ viermal hintereinander.</p> <p>(Score = 1 Punkt für 4 richtige Wiederholungen)</p>		(1)
<p>4. Wiederholen Sie bitte „da... di... do...“</p> <p>Sagen Sie „da, di, do“ viermal hintereinander.</p> <p>(Score = 1 Punkt für 4 richtige Wiederholungen)</p>		(1)

II/B. Motorisch

	Punkte	MAX.
<p>1. Zwei gleichzeitig alternierende Bewegungen:</p> <p>a. Zeigen Sie mit der linken Handfläche nach oben und mit der rechten Handfläche nach unten; dann mehrmals gleichzeitiger Positionswechsel beider Hände. Vormachen erlaubt.</p> <p>(Score = 1 Punkt für richtige Änderung der Handstellung bei 5 aufeinanderfolgenden Wechselbewegungen)</p>		(1)

Falls der Patient die Aufgabe 1a richtig erfüllt, können 1b und 1c übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX.
<p>b. Ballen Sie bitte die rechte Hand zur Faust mit der Handfläche nach unten und strecken Sie die Finger der linken Hand (mit der Handfläche nach unten). Ändern Sie die Haltung der Finger (Faustschluss/Fingerstreckung) mehrmals gleichzeitig.</p> <p>(Score = 1 Punkt für richtige Änderung der Handstellung bei 5 aufeinanderfolgenden Wechselbewegungen)</p>		(1)
<p>c. Bitte klopfen Sie abwechselnd mit den Zeigefingern jeder Hand auf den Tisch. „Klopfen Sie links, dann rechts, dann links, so wie ich jetzt.“</p> <p>(Score = 1 Punkt für 10 richtige wechselweise Wiederholungen)</p>		(1)

2. Graphomotorisch (dem Pat. die Vorlage zeigen)

	Punkte	MAX.
<p>a. Kopiere</p> 		(1)

Wenn der Patient die Aufgabe 2a richtig erfüllt, können 2b,2c und 2d übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX
<p>b. Kopiere</p> <p style="text-align: center;">O</p>		(1)
<p>c. Kopiere</p> <p style="text-align: center;">X</p>		(1)
<p>d. Kopiere</p> <p style="text-align: center;">OXOXOXOXOXOXOXO</p>		(1)

III. Konstruktion:

(dem Pat. die Vorlage zeigen)

	Punkte	MAX.
A. Kopiere 		(1)

Wenn der Patient A richtig löst, können B, C, D, E und F übersprungen und maximal bewertet werden.

	Punkte	MAX
B. Kopiere 		(1)
C. Kopiere 		(1)
D. Kopiere 		(1)
E. Kopiere 		(1)
„Schreiben Sie Ihren Namen.“		(1)

IV. Kombinatorik

A. Gemeinsamkeiten

„Auf welche Weise gleichen sich : und ?“

	2 Punkte (abstrakt)	1 Punkt (konkret)	0 Punkte	MAX.
1. Apfel - Banane	beides Früchte	zum Essen, Nahrung, zum Schälen	O	(2)
2. Mantel - Hemd	beides Kleidungsstücke	halten warm, aus Stoff	O	(2)
3. Boot - Auto	beides Transportmittel	beide bewegen sich, aus Metall, man kann in/mit beiden fahren	O	(2)
4. Tisch - Sessel	beides Möbelstücke	4 Beine, stehen in der Küche, aus Holz	O	(2)

Wenn der Patient 6 oder mehr Punkte bei A erzielt, können B, C, D, E übersprungen und maximal bewertet werden.

B. Instruiertes induziertes Denken

	Punkte	MAX.
<p>1. Nennen Sie 3 Dinge, die der Mensch isst.</p> <p>Antworten:,,</p> <p>„ Auf welche Weise gleichen sich, und ?“</p> <p>Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „., und sind alles Dinge, die der Mensch isst.“ (Weiter zu B2)</p>		(1)
<p>2. Nennen Sie 3 Dinge, die der Mensch anzieht.</p> <p>Antworten:,,</p> <p>„ Auf welche Weise gleichen sich, und ?“</p>		

Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „... . . . und sind alles Dinge, die Menschen anziehen.“ (Weiter zu B3)		(1)
3. Nennen Sie 3 Dinge, mit denen man fahren kann . Antworten: , , „Auf welche Weise gleichen sich , und ?“ Wenn der Patient nicht oder falsch antwortet, sagen Sie: „... . . . , . . . und sind alles Dinge, mit denen man fahren kann.“ (1 Punkt für jede richtige Antwort in Bezug auf die Gemeinsamkeit)		(1)

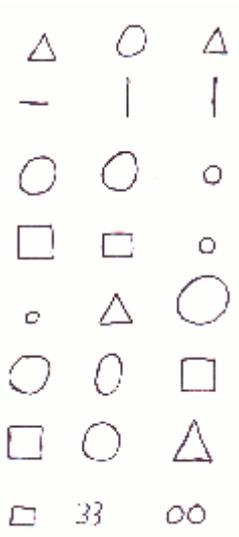
C. Unterschiede

	Punkte	MAX
Ich nenne Ihnen jetzt jeweils 3 Dinge. Sie sagen mir, welches nicht zu den 2 anderen gehört, welches unterschiedlich ist. 1. Hund - Katze - Auto 2. Junge - Tür - Mann 3. Fisch - Auto - Zug (1 Punkt für jede richtige Antwort)		(3)

D. Gemeinsamkeiten (Mehrfachwahl)

	Punkte	MAX
„Äpfel und Bananen sind das beides Tiere, beides Früchte oder beide grün?“ (Satz kann so oft wie notwendig wiederholt werden)		(2)*
2. „Mantel und Hemd, sind das beide Kleidungsstücke, beide aus Wolle oder beides Früchte?“ (kann wiederholt werden)		(2)*
3. „Boot und Auto, bewegen sich beide, sind es Transportmittel oder beides Kleidungsstücke?“ (kann wiederholt werden)		(2)*
4. „Tisch und Sessel, sind das beides Transportmittel, sind beide aus Holz oder beides Möbelstücke?“ (kann wiederholt werden) * 2 Punkte für jede richtige abstrakte, 1 Punkt für jede konkrete Antwort		(2)*

E. Gleichheit und Ungleichheit

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
<p>A. „Welche 2 sind gleich, gehören zusammen?“</p> <p>(Zahl der richtigen Antworten)</p>		(8)
<p>B. „Welches davon ist unterschiedlich, gehört nicht zu den beiden anderen?“</p> <p>(Zahl der richtigen ungleichen, 1 Punkt für jede richtige Antwort)</p> 		(8)

V. Gedächtnis

A1: Verbales Material

<p>Bitten Sie den Patienten, folgenden Satz zu lesen: (dem Pat. die Vorlage zeigen)</p> <p style="text-align: center;">Der Junge hat einen braunen Hund.</p> <p>Sagen Sie: „Merken Sie sich diesen Satz, weil ich Sie später danach fragen werde.“</p>
--

B1

	Punkte	MAX.
<p>„Ich würde Sie bitten, einen Satz zu bilden, in dem Sie die Wörter „Mann“ und „Auto“ verwenden.“</p> <p>Antwort</p> <p>(1 Punkt für einen vollständigen Satz. Punkt wird der Gruppe Kombinatorik zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)</p> <p>„Merken Sie sich auch diesen Satz, weil ich später nach ihm fragen werde.“</p>		(1)

C. Orientierung

	Punkte	MAX.
<p>Tag, Datum, Monat, Jahr,</p> <p>Präsident, Kanzler, Bürgermeister,</p> <p>Name des Krankenhauses, Stadt</p> <p>(1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		(9)

D1

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
<p>„Zählen Sie alle A's“</p> <p>(Ein Punkt für jedes richtig identifizierte A. Punkt wird dem Gebiet Konzentration und Aufmerksamkeit zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)</p>		(6)

D2

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX.
<p>(Ein Punkt für jedes richtig identifizierte A. Punkt wird dem Gebiet Konzentration und Aufmerksamkeit zugezählt - siehe Gesamtbewertungsbogen)</p>		(5)

VI. Satz - Merken - fragen Sie nach den Sätzen

	Punkte	MAX
A2: 4 Punkte für den Satz bzw. je ein Punkt für Junge, braun, Hund		(4)
B2: Eigener Satz: 3 Punkte für den Satz oder je 1 Punkt für Mann, Auto		(3)

Wiedererkennen von Wörtern

E1

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Ich möchte, dass Sie diese Liste von Wörtern 4mal lesen, so dass Sie sich jedes Wort merken.“</p> <p style="text-align: center;">Abend Pflanze offen Maschine Feuer</p> <p>(1 Punkt für jedes richtige Lesen aller 5 Wörter. Wird dem Gebiet Konzentration zugezählt)</p>		(4)

E2

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Welches Wort war in der Liste, die Sie gerade gelesen haben?“</p> <p style="text-align: center;">Abend Kopf Meter Pflanze Land offen Maschine Nacht Feuer Milch</p> <p>(1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		(5)

F1

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Welche dieser Zeichnungen (zeigen Sie auf die untere Reihe) sieht wie diese (zeigen Sie auf die erste Zeichnung aus der oberen Reihe) aus?“</p> <p>(Jeder Hinweis erlaubt, der richtiges Erkennen der Übereinstimmung ermöglicht)</p> <p>(4 übereinstimmende Zeichnungen, 1 Punkte für jede richtige Übereinstimmung, wird dem Gebiet Aufmerksamkeit und Konzentration zugezählt)</p>		(4)

F2

(dem Pat. die Vorlage zeigen)	Punkte	MAX
<p>„Ich zeige Ihnen 2 Zeichnungen gleichzeitig. Bestimmen Sie aus jedem Paar jene Zeichnung, mit der Sie gerade gearbeitet haben bzw. die Sie gerade gesehen haben.“</p> <p>(1 Punkt für jede richtige Antwort)</p>		(4)

Scoring Sheet

1.) Aufmerksamkeit und Konzentration

	Punkte	MAX		Punkte	MAX.
A (Zahlenreihe)	_	(8)	II A1 (Supermarkt)	_ _	(20)
B (2 Befehle)	_	(2)	A2 (Kleidung)	_	(8)
C (verbaler Befehl)	_	(4)	A3 (da, sah, nah)	_	(1)
D (Nachahmen)	_	(4)	A4 (da, di, do)	_	(1)
			B 1a (Handfläche)	_	(1)
V D1 (A's zählen)	_	(6)	1b (Faust)	_	(1)
D2 (A's zählen)	_	(5)	1c (Klopfen)	_	(1)
E1 (Liste lesen)	_	(4)	2a (Kopieren)	_	(1)
F1 (Zeichnungen zuordnen)	_	(4)	2b (Kopieren O)	_	(1)
			2c (Kopieren X)	_	(1)
			2d (Kopieren OXOX)	_	(1)
Summe	_ _	(37)	Summe	_ _	(37)

2.) Konstruktion

	Punkte	MAX	3.) Kombinatorik	Punkte	MAX.
III A (Kopieren)	_	(1)	IV A (Gemeinsamkeiten)	_	(8)
B (Kopieren)	_	(1)	B (Denken)	_	(3)
C (Kopieren)	_	(1)	C (Unterschiede)	_	(3)
D (Kopieren)	_	(1)	D (Gemeinsamkeiten)	_	(8)
E (Kopieren)	_	(1)	E (Un-/Gleichheit)	_ _	(16)
F (Name)	_	(1)	V B1 (kompletter Satz)	_	(1)
Summe	_	(6)	Summe	_ _	(39)

4.) Gedächtnis

	Punkte	MAX	5.) Totalscore	Punkte	MAX.
VI A2 (Junge, braun, Hund)	_	(4)	Aufmerksamkeit und	_ _	(37)
VI B2 (Mann, Auto)	_	(3)	Konzentration	_ _	(37)
V C (Orientierung)	_	(9)	Konstruktion	_	(6)
VI E2 (Wortpaare)	_	(5)	Kombinatorik	_ _	(39)
VI F2 (Zeichng. erkennen)	_	(4)	Gedächtnis	_ _	(25)
Summe	_ _	(25)	Summe	_ _ _	(144)

Anhang C: Mehrfachwahl-Wortschatztest B (MWT-B)

„Sie sehen hier mehrere Reihen mit Wörtern. In jeder Reihe steht nur ein Wort, das Ihnen bekannt ist, die restlichen 4 Wörter sind Fantasiewörter. Bitte umkreisen Sie in jeder Reihe das Ihnen bekannte Wort.“

1. Nale - Sahe - Nase - Nesa - Sehna
2. Funktion - Kuntion - Finzahn - Tunktion - Tunkion
3. Struk - Streik - Sturk - Streck - Kreik
4. Kulinse - Kulerane - Kulisse - Klubihle - Kubistane
5. Kenekel - Gesonk - Kelume - Gelenk - Gelerge
6. sizio - salzahl - sozihl - sziam - sozial
7. Sympasie - Symmofeltrie - Symmantrie - Symphonie - Symplanie
8. Umma - Pamme - Nelle - Ampe - Amme
9. Krusse - Surke - Krustelle - Kruste - Struke
10. Kirse - Sirke - Krise - Krospe - Serise
11. Tinxur - Kukutur - Fraktan - Tinktur - Rimsuhr
12. Unfision - Fudision - Infusion - Syntusion - Nuridion
13. Feudasmus - Fonderismus - Föderalismus - Födismus - Förderasmus
14. Redor - Radium - Terion - Dramin - Orakium
15. kentern - knerte - kanzen - kretern - trekern
16. Kantate - Rakante - Kenture - Krutehne - Kallara
17. schalieren - waschieren - wakieren - schackieren - kaschieren
18. Tuhl - Lar - Lest - Dall - Lid
19. Dissonanz - Diskrisanz - Distranz - Dinotanz - Siodenz
20. Ferindo - Inferno - Orfina - Firanetto - Imfindio
21. Rilkiase - Kilister - Riliker - Klistier - Linkure
22. kurinesisch - kulinarisch - kumensisch - kulissarisch - kannastrisch
23. Rosto - Torso - Soro - Torgos - Tosor
24. Kleiber - Beikel - Keibel - Reikler - Biekerl
25. Ralke - Korre - Ruckse - Recke - Ulte
26. Lamone - Talane - Matrone - Tarone - Malonte
27. Tuma - Umat - Maut - Taum - Muta

28. Sorekin - Sarowin - Rosakin - Narosin - Kerosin
29. beralen - gerältet - anälteren - untären - verbrämen
30. Kapaun - Paukan - Naupack - Aupeck - Ankepran
31. Sickaber - Bassiker - Kassiber - Sassiker - Askiber
32. Pucker - Keuper - Eucker - Reuspeck - Urkane
33. Spirine - Saprin - Parsin - Purin - Asprint
34. Kulon - Solgun - Koskan - Soran - Klonus
35. Adept - Padet - Edapt - Epatt - Taped
36. Gindelat - Tingerat - Indigenat - Nitgesaar - Ringelaar
37. Berkizia - Brekzie - Birakize - Brikazie - Bakiria

Anhang D: Aufklärungsbogen für Patienten

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

an unserer Klinik wird derzeit eine Studie zum Kategorienlernen bei Patienten mit einer Parkinsonerkrankung durchgeführt. Wir wollen untersuchen, unter welchen Bedingungen dieses Lernen stattfindet, um die Mechanismen des Lernens besser zu verstehen und die eventuellen Einschränkungen bei Patienten mit einer Parkinsonerkrankung genau beschreiben zu können. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, langfristig die Behandlung und gezielte Unterstützung von Parkinsonpatienten zu verbessern.

Die Untersuchung besteht aus einem Test, bei dem Sie bestimmte Figuren auf einem Bildschirm dargeboten bekommen und diese jeweils in eine von zwei Kategorien einsortieren sollen. Ihre Entscheidung fällen Sie dabei durch einen einfachen Tastendruck. Dieser Test dauert ca. 20 bis 30 Minuten. Zusätzlich werden weitere neuropsychologische Tests mit kurzen Aufgaben zu Gedächtnis, Konzentration, räumlichem Denken und sprachlichen Fähigkeiten durchgeführt, die wir in unserer Klinik routinemäßig bei Parkinsonpatienten einsetzen. Auch werden wir Sie bitten, einen kurzen Fragebogen zur Stimmung auszufüllen. Dieser zweite Teil der Untersuchung dauert ca. 20 bis 30 Minuten, so dass die gesamte Untersuchung ca. 40 bis 60 Minuten in Anspruch nehmen wird.

Die Untersuchung ist mit keinerlei Risiken für Sie verbunden. Die gewonnenen Daten werden anonymisiert ausgewertet, d. h. Ihre persönlichen Daten sind geschützt und können Ihrer Person nicht zugeordnet werden. Unter Umständen werden die von uns gewonnen Ergebnisse in Fachzeitschriften veröffentlicht oder auf Fachkongressen vorgestellt, auch dann werden keine Angaben preisgegeben, die es ermöglichen, Sie zu identifizieren. Sie können die Untersuchung jederzeit ohne Angabe von Gründen unterbrechen oder abbrechen. Generell hat die Teilnahme oder Nicht-Teilnahme an der Studie keinen Einfluss auf die weitere Behandlung (z.B. Medikamenteneinnahme, stationärer Aufenthalt) in unserer Klinik.

Anhang E: Aufklärungsbogen für Probanden

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

an unserer Klinik wird derzeit eine Studie zum Kategorienlernen bei Patienten mit einer Parkinsonerkrankung durchgeführt. Wir wollen untersuchen, unter welchen Bedingungen dieses Lernen stattfindet, um die Mechanismen des Lernens besser zu verstehen und die eventuellen Einschränkungen bei Patienten mit einer Parkinsonerkrankung genau beschreiben zu können. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, langfristig die Behandlung und gezielte Unterstützung von Parkinsonpatienten zu verbessern. Dazu müssen wir die Ergebnisse der Patienten vergleichen mit denen von gesunden Kontrollprobanden, um eventuelle Einschränkungen feststellen zu können. Die Untersuchung besteht aus einem Test, bei dem Sie bestimmte Figuren auf einem Bildschirm dargeboten bekommen und diese jeweils in eine von zwei Kategorien einsortieren sollen. Ihre Entscheidung fällen Sie dabei durch einen einfachen Tastendruck. Dieser Test dauert ca. 20 bis 30 Minuten.

Zusätzlich werden weitere neuropsychologische Tests mit kurzen Aufgaben zu Gedächtnis, Konzentration, räumlichem Denken und sprachlichen Fähigkeiten durchgeführt, die wir in unserer Klinik routinemäßig bei Parkinsonpatienten einsetzen. Auch werden wir Sie bitten, einen kurzen Fragebogen zur Stimmung auszufüllen. Dieser zweite Teil der Untersuchung dauert ca. 20 bis 30 Minuten, so dass die gesamte Untersuchung ca. 40 bis 60 Minuten in Anspruch nehmen wird.

Die Untersuchung ist mit keinerlei Risiken für Sie verbunden. Die gewonnenen Daten werden anonymisiert ausgewertet, d. h. Ihre persönlichen Daten sind geschützt und können Ihrer Person nicht zugeordnet werden. Unter Umständen werden die von uns gewonnen Ergebnisse in Fachzeitschriften veröffentlicht oder auf Fachkongressen vorgestellt, auch dann werden keine Angaben preisgegeben, die es ermöglichen, Sie zu identifizieren. Sie können die Untersuchung jederzeit ohne Angabe von Gründen unterbrechen oder abbrechen.

Anhang F: Einwilligungserklärung

Frau/Herrn _____, _____
Nachname Vorname

Ich bin ausreichend in mündlicher und in schriftlicher Form über die Ziele und Methoden, die möglichen Risiken und den Nutzen der Studie informiert worden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, die Studie mit dem/r Versuchsleiter/in zu besprechen und Fragen zu stellen. Des Weiteren wurde ich darauf hingewiesen, dass meine Studienteilnahme freiwillig ist und dass ich jederzeit ohne Angaben von Gründen meine Zusage zur Teilnahme zurückziehen kann und mir daraus für meine weitere Betreuung und Behandlung keinerlei Nachteile entstehen.

Ich bin damit einverstanden, dass im Rahmen der klinischen Prüfung meine Krankheitsdaten zur Auswertung der Ergebnisse in anonymisierter Form verwendet werden. Alle im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten werden strikt vertraulich gemäß dem Datenschutz behandelt. Einer wissenschaftlichen Auswertung der anonymisierten Daten und einer möglichen Veröffentlichung der Ergebnisse stimme ich zu.

Ich gebe hiermit meine Zustimmung zur Teilnahme an dieser Untersuchung

Ort, Datum

Unterschrift des Teilnehmers

Unterschrift des aufklärenden Arztes/ Psychologen

Anhang G: Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Julia Schmitt-Eliassen, geb. Schulte-Umberg
Geburtstag	16.03.1976
Geburtsort	Kiel

Ausbildung

1982-1986	Claus-Rixen-Grundschule Altenholz
1986-1995	Gymnasium Altenholz
September 1995 - Juni 1996	Tätigkeit als Sprachassistentin am Collège St Charles in Arles, Frankreich
Seit WS 1996	Psychologiestudium an der Christian-Albrechts-Universität Kiel
September 1999 - Mai 2000	Zweisemestriger Studienaufenthalt als DAAD-Stipendiatin an der Université du Québec à Montréal
2002	Diplom in Psychologie
Seit Januar 2003	Ausbildung zur Psychologischen Psychotherapeutin am Institut für Therapie- und Gesundheitsforschung in Kiel

Berufliche Tätigkeiten

15.01.2003 - 31.12.2004	Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Lübeck
Seit 01.01.2005	Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Klinik für Neurologie der Universitätsklinik Schleswig-Holstein, Campus Kiel