

**Auswirkungen von Fehlern der exekutiven
Kontrolle auf nachfolgendes Verhalten -
Eine Studie zum Aufgabenwechsel-Paradigma**

eine Diplomarbeit im Fach Psychologie

vorgelegt von

Sonja Schumacher

Erstgutachter: Professor Dr. Ronald Hübner

Zweitgutachter: Professor Dr. Harald Schupp

Konstanz, im Juni 2007

ICH DANKE

Dr. Marco Steinhauser

für die geduldige Betreuung und unermüdliche Unterstützung.

Prof. Dr. Ronald Hübner und Prof. Dr. Harald Schupp

für die Übernahme der Begutachtung.

Magdalena Schumacher

für die Hilfe bei der sprachlichen Überarbeitung.

Evelyn Egger

für die Freundschaft.

Urs Bolliger

für die moralische Unterstützung und die schöne Zeit.

meiner Familie und besonders meinen Eltern

dafür, dass sie stets hinter mir stehen.

Sonja Schumacher
Konstanz, im Juni 2007

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wurden prozedurale Lernprozesse untersucht. Damit Fehler nicht zum Verhängnis werden, benötigt es überwachte Lernmechanismen, die für eine Verbesserung der zukünftigen Leistung sorgen. In der Literatur gibt es allerdings vielerlei Hinweise auf unüberwachtes Lernen, während kaum Belege für überwachtes prozedurales Lernen vorliegen. Deshalb wird in der aktuellen Studie untersucht, ob prozedurales Lernen überwacht oder unüberwacht abläuft.

Die Lernprozesse wurden anhand eines Experiments mit Wahlreaktionsaufgaben untersucht. An diesem Experiment haben 12 Versuchspersonen teilgenommen. Die Versuchspersonen mussten zwischen drei Aufgaben hin und her wechseln. In einer Darbietung von vier Balken mussten sie jeweils auf den reagieren, der auf der vorgegebenen Dimension (Farbe, Größe oder Orientierung) von den anderen abwich. Nebst der Aufgabenebene wurde auch die Reizebene untersucht. Zu diesem Zweck wurden in jeder Aufgabe zwei unterschiedliche Abweicher verwendet. Bei unüberwachtem Lernen sollte die Fehlerrate nach einem Fehler ansteigen. Bei überwachtem Lernen würde man hingegen nach einem Fehler eine Senkung der Fehlerrate erwarten.

Die Ergebnisse sind über die Aufgaben hinweg inkonsistent. Da die Aufgaben *Farbe* und *Orientierung* für schlüssige Ergebnisse zu wenige Daten geliefert haben, konzentriert sich die Interpretation auf die Größenaufgabe. Hier hat sich gezeigt, dass sich die Lerneffekte auf der Ebene der Aufgabe von denen auf der Ebene der Reize unterscheiden. Auf der Ebene der Aufgabe zeigt sich unüberwachtes Lernen, auf der Ebene der Reize hingegen überwachtes Lernen.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	1
Lernen und Gedächtnis.....	1
Prozedurales Lernen.....	2
Unüberwachtes Lernen.....	4
Überwachtes Lernen.....	7
Gedächtniseffekte bei Aufgabenwechsel und Priming.....	10
Prozedurales Lernen und Priming.....	10
Prozedurales Lernen und Aufgabenwechsel.....	12
Das Lernen von Fehlern beim Aufgabenwechsel.....	16
Die aktuelle Studie.....	18
 Methode.....	 24
Versuchspersonen.....	24
Apparate.....	24
Reizmaterial.....	24
Prozedur.....	26
Design.....	27
Statistische Auswertung.....	28
 Resultate.....	 29
Vergleich zwischen korrekten Reaktionen und unkorrigierten Fehlern.....	30
Vergleich zwischen unkorrigierten und korrigierten Fehlern.....	33
Vergleich zwischen korrekten Reaktionen und korrigierten Fehlern.....	34
Alternierende Wechselkosten.....	36
 Diskussion.....	 38
Hypothesen.....	38
Ergebnisse.....	39
Beantwortung der Hypothesen.....	40
Interpretation.....	41

Ein Modell.....	44
Lerntheorien im Modell.....	47
Inkonsistente Ergebnisse für die verschiedenen Aufgaben.....	49
Alternierende Wechselkosten.....	51
Ausblick.....	52
Literatur.....	53
Anhang.....	60

EINLEITUNG

Die kognitive Psychologie beschäftigt sich seit langem mit dem Gegenstand des Lernens. Welche Mechanismen ermöglichen uns, unser Verhalten zu optimieren? Wann unterlaufen der kognitiven Kontrolle Fehler und wie wirken sich diese auf zukünftiges Verhalten aus? Nicht nur in der klassischen Schul-Situation, sondern auch im Alltag sind wir ständig mit Lernsituationen konfrontiert. Unsere täglichen Lernerfahrungen sind vielfältig, vom Auswendiglernen historischer Fakten, oder Wörtern einer Fremdsprache, über das Zuordnen von Namen und Gesichtern neuer Leute bis hin zum Erwerb von Fertigkeiten, wie beispielsweise Fahrrad- oder Autofahren. Wenn etwas neu gelernt wird, unterlaufen uns häufig Fehler. Wenn man zum Beispiel eine neue Gruppe von Leuten kennen lernt, sind einem sowohl die Gesichter als auch die meisten Namen relativ schnell bekannt. Die Zuordnung bereitet allerdings oftmals Schwierigkeiten. Manchmal erinnert einen eine neue Person an einen alten Freund, und immer wenn man die neue Person begrüßt fällt einem zuerst der Name des alten Freundes ein. Oder man ordnet die neuen Namen anfänglich falsch zu und kommt dann kaum mehr von dieser falschen Zuordnung los. Wie überwindet man solche Fehler? Kann man tatsächlich aus Fehlern lernen, oder behindern sie uns nur? Bereits Skinner (1968) war der Meinung, dass Fehler das Lernen behindern und daher nach Möglichkeit vermieden werden sollten. Bis heute ist aber nicht genau geklärt, welche Folgen Fehler tatsächlich nach sich ziehen. Um diese Frage untersuchen zu können, muss man sich die einzelnen Lernmechanismen genauer ansehen.

Lernen und Gedächtnis

Zunächst unterscheidet man verschiedene Arten des Lernens, beziehungsweise verschiedene Formen von Gedächtnis. Die wichtigste Unterscheidung in der Gedächtnisforschung ist die zwischen dem expliziten und dem impliziten Gedächtnis (Schacter, 1985). Das explizite Gedächtnis wird auch episodisches Gedächtnis genannt (Tulving & Schacter, 1990) und bezieht sich auf die Fähigkeit, Ereignisse aus der Vergangenheit bewusst abzurufen. Das explizite Lernen wird durch erhöhte Aufmerksamkeit und detaillierte Verarbeitung der Informationen

erleichtert (Baddeley, 1997). Inhalte aus dem impliziten Gedächtnis dagegen kann man nicht bewusst abrufen. Der Abruf geschieht automatisch, und implizites Lernen ist relativ unempfindlich gegenüber der Tiefe der Verarbeitung von Informationen. Implizit können daher auch Dinge gelernt werden, die man gar nicht zu lernen beabsichtigt oder an deren frühere Begegnung man sich nicht bewusst erinnern kann.

Prozedurales Lernen

Das prozedurale Gedächtnis ist ein Teil des impliziten Gedächtnisses. Prozedurales Lernen bezieht sich sowohl auf den Erwerb von motorischen als auch von kognitiven Fertigkeiten. Hierbei geht es darum, einen Ablauf, dessen Regeln man kennt, zum Beispiel das Fahren eines Autos oder Kopfrechnen, tatsächlich auszuführen und einzuüben. Die Übung ist zum Erlernen der Fertigkeit nötig, da das Wissen über die einzelnen Schritte allein noch nicht garantiert, dass die Tätigkeit auch ausgeführt werden kann. Da prozedurales Lernen implizit abläuft können auch amnestische Patienten durch Übung neue Fertigkeiten erwerben (Baddeley & Wilson, 1994), selbst wenn sie sich nicht daran erinnern können, die Tätigkeit früher schon einmal ausgeführt zu haben (Corkin, 1968; Schneider, 1912; Talland, 1965). Bei Menschen mit intaktem Gedächtnis besteht der Erwerb einer Fertigkeit meist aus einer Mischung von expliziten und impliziten Vorgängen. Zu Beginn wird ein neuer Ablauf meist durch den Abruf eines Algorithmus aus dem expliziten Gedächtnis durchgeführt. Ein Algorithmus ist eine Sammlung von Regeln zur Lösung eines Problems. Durch zunehmende Übung in den impliziten Vorgängen werden die expliziten Gedächtnisinhalte mit der Zeit immer weniger benötigt. Es findet ein Übergang zur Automatisierung statt (Anderson, 1982; Bryan & Harter, 1899; Fitts, 1964; Kahneman & Treisman, 1984). Anfangs werden also die Regeln der Reihe nach bewusst angewendet. Beim Autofahren beispielsweise eine Abfolge wie: Zündschlüssel ins Schloss stecken, Kupplung drücken, Zündschlüssel umdrehen, Handbremse lösen und so weiter. Wenn man jedoch mit einer Tätigkeit viel Erfahrung hat, ist man meist nicht mehr in der Lage, die einzelnen Schritte zu verbalisieren, sprich bewusst abzurufen. Die Automatisierung

hat zur Folge, dass die Tätigkeit schneller ablaufen kann und immer weniger Aufmerksamkeit benötigt (Baddeley, 1997).

Die aktuelle Studie konzentriert sich auf prozedurales Lernen bei einfachen Wahlreaktionsaufgaben. Bei einer Wahlreaktionsaufgabe soll die Versuchsperson auf verschiedene Reize unterschiedlich reagieren, zum Beispiel die linke Taste drücken wenn ein roter Reiz erscheint und die rechte Taste drücken, wenn ein blauer Reiz erscheint. Die Versuchspersonen werden dazu angehalten, möglichst genau und möglichst schnell zu reagieren. Anfangs muss diese Prozedur Schritt für Schritt erarbeitet werden: Der Reiz wird wahrgenommen, die Regel aus der Instruktion wird aus dem Gedächtnis abgerufen, die angemessene motorische Reaktion wird daraus abgeleitet und ausgeführt. Mit zunehmender Erfahrung wird sich die Versuchsperson jedoch beim Erscheinen des Reizes implizit - also unbewusst - daran erinnern, wie sie beim letzten Mal darauf reagiert hat und automatisch direkt diese Reaktion ausführen (Logan, 1988). Da es sich hier um eine sehr einfache Prozedur handelt, findet der Übergang zur Automatisierung sehr schnell statt.

Die aktuelle Studie soll helfen zu klären, ob bei prozeduralen Lernvorgängen überwacht oder unüberwacht gelernt wird. Mit unüberwachtem Lernen ist gemeint, dass Verbindungen zwischen Reizen und Reaktionen oder zwischen Aufgaben und Reaktionen verstärkt werden, lediglich weil diese zusammen auftreten, unabhängig von der Konsequenz der Reaktion. Überwachtes Lernen dagegen bedeutet, dass nur Verbindungen verstärkt werden, die zu erwünschten Konsequenzen führen. Überwachtes Lernen würde es ermöglichen, aufgrund eines Fehlers die zukünftige Fehlerrate zu senken. Die Assoziation zwischen einem Reiz und einer falschen Reaktion würde hier geschwächt werden, um die Wahrscheinlichkeit eines erneuten Auftretens zu verringern. Bei unüberwachtem Lernen hingegen würde jede auftretende Reaktion verstärkt werden. Somit würde das Auftreten eines Fehlers die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass die falsche Reaktion erneut auftritt und somit die zukünftige Fehlerrate erhöhen.

Als Grundlage für die Hypothesen unserer Studie werde ich im Folgenden erst einiges aus der Literatur über Lernmechanismen und Fehler zusammenfassen. Insbesondere werde ich die verschiedenen Theorien und Befunde zu unüberwachtem und überwachtem Lernen einander gegenüber stellen, um zu zeigen, dass vieles dafür spricht, dass bei Wahlreaktionsaufgaben unüberwacht gelernt wird. Zur Erklärung von überwachtem Lernen werde ich einiges über Ursachen und Registrierung von Fehlern anführen. Danach werde ich ausführen, warum das Aufgabenwechsel-Paradigma zur Untersuchung von impliziten Lerneffekten geeignet ist.

Unüberwachtes Lernen

Was spricht nun dafür, dass Fehler gelernt werden? Zunächst stellt sich die Frage, wie es dem Gehirn überhaupt möglich ist zu lernen. Ein biologisch plausibler Mechanismus dafür wurde von Donald Hebb (1949) formuliert. Der Schlüssel liegt hier in der Veränderung von Synapsen. Wenn eine Zelle A eine Zelle B aktiviert während Zelle B aktiv ist, dann wird die Verbindung von A und B verstärkt, indem mehr Synapsen zur Verfügung gestellt werden oder durch die Erhöhung der Effizienz der vorhandenen Synapsen. Durch diesen Mechanismus ist es einem Zellverband möglich, etwas zu lernen, ohne dass dieser Vorgang überwacht werden müsste. Diese ursprüngliche Idee wird durch aktuelle Forschung in der Neurophysiologie gestützt (Cahill, McGaugh & Weinberger, 2001; Cooper, 2005).

Dass sich dieser Mechanismus von der Ebene der Neurone auch auf die Ebene von Repräsentationen verallgemeinern lässt, zeigen Experimente zur klassischen Konditionierung (Pavlov, 1927; Twitmyer, 1974). Genau wie bei Hebb's Lernmechanismus auf neuronaler Ebene werden auch bei der klassischen Konditionierung die Verbindungen zwischen Dingen verstärkt, die gemeinsam aktiv sind. Auf neuronaler Ebene handelt es sich um gemeinsam aktive Neurone, auf der Ebene von Repräsentationen um gemeinsam auftretende Reize und Reaktionen. Beispielsweise kann ein Glockenton, der häufig mit einem Luftstoß auf ein Auge kombiniert wird, nach einer gewissen Zeit auch ohne den Luftstoß einen Lidschlag auslösen (Anderson, 1995). Bei längerem Ausbleiben von gemeinsamen

Präsentationen der beiden Reize geht diese Eigenschaft allmählich wieder verloren.

McClelland (2001) hat darauf hingewiesen, dass zwei bekannte Phänomene auf den ersten Blick mit der Hebb'schen Lerntheorie nicht vereinbar zu sein scheinen. Zum einen ist es in einigen Aufgaben trotz massiver Wiederholungen unmöglich, amnestischen Patienten neue Informationen beizubringen, obwohl sie in anderen Aufgaben von wiederholter Übung in beeindruckendem Maße profitieren. Zum anderen verringert sich die Fähigkeit eine neue Sprache zu Lernen im Erwachsenenalter drastisch, obwohl Erwachsene grundsätzlich immer noch lernen und Fähigkeiten erwerben können. Die Schwierigkeit liegt hier besonders im Erwerb von Lautunterscheidungen, die in der Muttersprache nicht existieren. McClelland erklärt diese beiden Phänomene durch einen einzigen Mechanismus, nämlich die unerwünschte Verstärkung bereits vorhandener Verbindungen. Dies ist eine paradoxe Eigenschaft beim unüberwachten Lernen, die zu unerwünschten Effekten führen kann.

Nach der Theorie von McClelland, McNaughton und O'Reilly (1995) ist ein wichtiger Aspekt der Amnesie, dass synaptische Veränderungen während der Informationsverarbeitung zu gering sind, um Assoziationen zu stärken. Allerdings sagt ihre Theorie vorher, dass sich durch massive Wiederholung die geringfügigen Veränderungen kumulieren und dadurch zur Bildung der gewünschten Assoziation führen können. Dies ist aber dann nicht der Fall, wenn die Patienten raten müssen und dadurch viele Fehler machen. Dann nämlich bewirken die Fehler Veränderungen, die ein Gegengewicht zur gewünschten Assoziation bilden. Dadurch wird verhindert, dass die korrekte Assoziation gelernt wird.

McClelland und Thomas (1998) haben diesen Effekt mit einem Kohonen-Netzwerk modelliert, welches sie trainierten, um Sprachlaute zu unterscheiden. Kohonen-Netzwerke werden auch selbst-organisierte Karten genannt, da sie in der Lage sind, ohne Hilfe eines Lehrers zu lernen, verschiedene Kategorien zu differenzieren. Dies geschieht allein durch Erfahrung mit verschiedenen

Exemplaren aus den entsprechenden Kategorien. Dabei wird mit der Zeit aus den verschiedenen Exemplaren ein Durchschnitt berechnet, mit anderen Worten ein Prototyp extrahiert, der das typischste Beispiel der jeweiligen Kategorie repräsentiert. Nachdem das Netzwerk gelernt hatte, die Kategorien zu unterscheiden, wurde es mit zwei neuen Kategorien (Sprachlauten) konfrontiert, die zuvor nur eine Kategorie gebildet hatten (einen dazwischen liegenden Laut). In dieser Situation konnte das Netzwerk die neuen Kategorien nur dann differenzieren, wenn ihre Unterschiede verstärkt dargestellt wurden. Ansonsten haben weitere Präsentationen, egal wie viele, lediglich die vorhandene Organisation von Kategorien verstärkt.

Baddeley und Wilson (1994) sind der Meinung, dass eine der Hauptfunktionen des expliziten Gedächtnisses das Eliminieren von Lernfehlern ist. Da das explizite Gedächtnis bei einer Amnesie beschädigt ist, müssen sich amnestische Patienten auf implizites Lernen verlassen. In Baddeley und Wilsons Experiment sollten junge, alte und amnestische Versuchspersonen eine Liste von Wörtern durch Wortstammerngänzung lernen. Jede Versuchsperson durchlief eine Liste mit fehlerhaftem und eine andere Liste mit fehlerlosem Lernen. Bei fehlerlosem Lernen wurde erst der Wortstamm präsentiert (die ersten zwei Buchstaben des Wortes) und dann das ganze Wort genannt, und der Proband sollte es anschließend aufschreiben. Bei fehlerhaftem Lernen sollte der Proband zuerst versuchen, das Wort aufgrund des Wortstammes zu erraten und erst danach wurde die richtige Lösung präsentiert. Bei einem darauf folgenden Test hat sich gezeigt, dass Amnesie-Patienten wesentlich mehr vom fehlerlosen Lernen profitieren konnten als die beiden Kontrollgruppen. Dieser Effekt wird dadurch erklärt, dass ein Fehler zu einer Verstärkung der falschen Reaktion führt. Da das implizite Gedächtnis die stärkste Reaktion ausgibt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die falsche Reaktion erneut auftritt. Somit steht die falsche Reaktion, wenn sie einmal aufgetreten ist, in starker Konkurrenz mit der korrekten Reaktion und interferiert daher mit dem Lernprozess. Baddeley und Wilson schließen aus ihrem Experiment, dass amnestische Patienten nicht anfälliger sind für Interferenz durch konkurrierende

Reaktionen als gesunde Menschen, sondern dass ihnen der Mechanismus fehlt, um die Interferenz zu überwinden.

Der implizite Lernmechanismus hat also den gravierenden Nachteil, dass durch Fehler unerwünschte Assoziationen verstärkt werden. Für das weiter oben erwähnte Beispiel einer Wahlreaktionsaufgabe würde dies folgendes bedeuten: Wenn eine Versuchsperson einmal auf einen roten Reiz hin die rechte Taste gedrückt hat anstelle der linken, dann wird sie mit hoher Wahrscheinlichkeit beim nächsten Auftreten des roten Reizes wieder mit rechts reagieren. Dies ist deshalb der Fall, weil die Verbindung zwischen dem roten Reiz und der rechten Taste verstärkt wurde. Je stärker die Verbindung zwischen einem Reiz und einer Reaktion, desto größer die Chancen für die Reaktion sich gegen eine andere Reaktion durchzusetzen. Damit uns Fehler nicht zum Verhängnis werden, wird ein Lernmechanismus benötigt, der in der Lage ist, beim Auftreten von Fehlern entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Nun stellt sich die Frage, was das kognitive System in die Lage versetzt, auf Fehler zu reagieren. Dazu gibt es verschiedene Theorien, die ich im folgenden Abschnitt kurz erläutern werde.

Überwachtes Lernen

Hinweise auf überwachtes Lernen stammen aus dem Bereich der instrumentellen Konditionierung. Hier wurde vor allem das Verhalten von Tieren erforscht. Ratten beispielsweise können dazu gebracht werden, bestimmte Verhaltensweisen zu zeigen, wie etwa das Drücken eines Hebels, wenn sie für dieses Verhalten belohnt werden. Thorndike (1898) nannte dies das "Law of Effect", was besagt, dass eine Reiz-Reaktions-Verbindung dann gefestigt wird, wenn auf die Reaktion ein Verstärker folgt. Eine Reaktion wird also nicht allein deshalb gelernt, weil sie aufgetreten ist, sondern nur dann, wenn sie auch einen erwünschten Effekt hat. Ziele sind in diesem Zusammenhang ein wichtiges Konzept, denn ein Fehler kann nur über eine bestimmte Absicht definiert werden (Reason, 1990). Eine Handlung kann nur dann falsch sein, wenn sie nicht zu einem erwünschten oder erwarteten Effekt führt. Dies kann einerseits dadurch zustande kommen, dass eine unangemessene Strategie zur Lösung eines Problems angewendet wurde, oder

dadurch, dass die richtige Strategie falsch ausgeführt wurde. Für ein Tier könnten solche Ziele Instinkte sein, wie das eigene Leben zu erhalten, unverletzt zu bleiben oder Schmerzen zu vermeiden. Beim Menschen kann es aber natürlich auch um abstraktere Dinge gehen, wie eine Aufgabe korrekt zu lösen.

Eine Erklärung dafür, wie Fehler im kognitiven System entdeckt werden, stammt von Holroyd und Coles (2002). Sie sind der Meinung, dass das mesenzephalische Dopaminsystem ein Verstärkungs-Lernsignal (von ihnen "temporal difference error" genannt) übermittelt. Diese Theorie besagt, dass das kognitive System bei einer bestimmten Reiz-Reaktions-Kombination eine bestimmte Konsequenz erwartet und diese Erwartung mit dem tatsächlichen Ergebnis vergleicht. Ist das Ergebnis besser als erwartet, so wird ein positives Verstärkungs-Lernsignal übermittelt, ist es schlechter als erwartet ist das Verstärkungs-Lernsignal negativ. Holroyd und Coles (2002) konnten zeigen, dass die ERN (Error-related Negativity, eine EEG-Komponente, die mit dem Auftreten von Fehlern in Verbindung gebracht wird) in ihrem zeitlichen Auftreten in Verbindung steht mit dem Moment, in dem die Konsequenz der Reaktion feststeht.

Eine andere Variante überwachten Lernens ist die Delta-Regel. Dies ist eine Lernregel, die oft verwendet wird, um neuronale Netzwerke zu trainieren (Widrow & Hoff, 1960). Diese Regel ist eine Erweiterung des Hebb'schen Lernmechanismus um eine Vorgabe der korrekten Reaktion (Lehrer-Input). Der Lehrer-Input gibt die erwartete Reaktion vor und diese wird dann mit der ausgegebenen Reaktion verglichen. Anhand dieses Vergleichs wird das Lernen im Netzwerk durch eine entsprechende Veränderung der Verbindungsstärken umgesetzt. Beim Verstärkungslernen hingegen wird die Konsequenz einer aufgetretenen Reaktion lediglich mit "besser als erwartet" oder "schlechter als erwartet" bewertet, ohne dem System die korrekte Reaktion bekannt zu geben.

Botvinick, Braver, Barch, Carter und Cohen (2001) sind der Meinung, dass das kognitive System zur Überwachung von Prozessen Reaktionskonflikte registriert. Ein Reaktionskonflikt entsteht durch die gleichzeitige Aktivierung inkompatibler

Reaktionen. Reaktionen sind inkompatibel, wenn sie nicht gleichzeitig auftreten können. Ein Fehler tritt auf, wenn die Aktivierung der falschen Reaktion vor der korrekten ihren Schwellenwert erreicht. Die Informationsverarbeitung läuft nach der Reaktion jedoch weiter, wodurch die Aktivierung der richtigen Reaktion schließlich doch noch den Schwellenwert überschreitet (Rabbitt & Rodgers, 1977; Rabbitt & Vyas, 1981). Dadurch sind kurz nach der Reaktion beide Reaktionen gleichzeitig stark aktiviert. Nach dieser Theorie zeigt sich ein Fehler also dadurch, dass der Reaktionskonflikt kurz nach einer Reaktion besonders hoch ist (Yeung, Cohen, & Botvinick, 2004). Die ERN zeigt sich zu dem Zeitpunkt, in dem der Reaktionskonflikt hoch ist und ist ausgeprägter je stärker der Konflikt (Botvinick, et al., 2001). Bei Fehlern zeigt sich also die ERN kurz nach der Reaktion, bei korrekten Reaktionen davor. Es handelt sich hier um einen simplen Mechanismus, der sich auch gut modellieren lässt. Diese Theorie liefert zwar ein Maß für Fehler, allerdings sagt sie nichts darüber aus, ob und wie das Fehlersignal zum Lernen genutzt wird.

Trotz vorhandener Theorien und Modelle zu überwachtem Lernen gibt es kaum empirische Belege für überwachtes prozedurales Lernen. Aus den eben beschriebenen Theorien und Modellen könnte man schließen, dass es dem kognitiven System durch die Registrierung eines Fehlers möglich ist, entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen, um die Wiederholung des entsprechenden Fehlers zu vermeiden. Dies sind allerdings nur indirekte Schlüsse die bisher nicht durch empirische Daten gestützt werden. Auch die Studie von Holroyd und Coles (2002) stellt lediglich indirekte Mutmaßungen an. In der aktuellen Studie sollen diese Fragen durch die Analyse von Fehlerraten bei Wahlreaktionsaufgaben direkt untersucht werden. Wenn überwachtes Lernen hier eine Rolle spielen sollte, dann würde dies für unser Beispiel bedeuten, dass, nachdem die Versuchsperson fälschlicherweise auf den roten Reiz mit der rechten Taste reagiert hat, ein Fehlersignal dazu führt, dass die Verbindung zwischen rotem Reiz und rechter Taste geschwächt wird und dadurch die Wahrscheinlichkeit für eine Wiederholung dieses Fehlers sinkt. Im nächsten Abschnitt werde ich auf

die Untersuchungsmethoden eingehen, anhand derer Gedächtniseffekte untersucht werden können.

Gedächtniseffekte bei Aufgabenwechsel und Priming

Im Folgenden möchte ich erörtern, wie mit Hilfe von Wahlreaktionsaufgaben Fragen zu Gedächtniseffekten untersucht werden können. Wahlreaktionsaufgaben können sequentielle Effekte in Reaktionszeiten und Fehlerraten erzeugen. Diese sind Indikatoren für prozedurales Lernen und Automatisierung. Die wichtigsten Klassen sequentieller Effekte sind Priming (Fox, 1995; Scarborough, Cortese, & Scarborough, 1977; Tipper, 1985) und Aufgabenwechsel (Allport, Styles & Hsieh, 1994; Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995).

Prozedurales Lernen und Priming

Es werden zwei Kategorien von Priming unterschieden, das positive und das negative Priming. Positives Priming nennt man den Effekt, dass die Reaktion auf einen Reiz erleichtert wird, wenn die Aufmerksamkeit kurz zuvor bereits einmal auf diesen Reiz gerichtet wurde (Scarborough et al., 1977). Dem gegenüber steht das negative Priming. Hier wird die Reaktion auf ein Objekt erschwert, wenn dieses zuvor ignoriert werden musste (Fox, 1995; Tipper, 1985). In einem klassischen Experiment zum negativen Priming besteht jeder Durchgang aus zwei Darbietungen (Displays). Zuerst wird ein Prime-Display dargeboten, danach ein Probe-Display. In jedem Display muss die Versuchsperson auf ein Zielobjekt reagieren und einen Distraktor ignorieren. Wenn nun der Distraktor des Prime-Displays im Probe-Display zum Zielobjekt wird, dann ist die Reaktionszeit länger als wenn sich die Objekte nicht wiederholen. Tabelle 1.1 zeigt ein Beispiel für eine Versuchsanordnung zum negativen Priming. Das negative Priming scheint ein robuster Effekt zu sein, der sich bei verschiedenen Arten von Reizen und Aufgaben zeigt. Mit der Priming-Methode kann man also sequentielle Gedächtniseffekte untersuchen, indem man analysiert, wie sich Reaktionszeiten und Fehlerraten verändern, in Abhängigkeit der Relevanz eines Reizes bei der

letzten Präsentation. Primingeffekte lassen sich auch bei amnestischen Patienten demonstrieren (Warrington & Weiskrantz, 1968).

Tabelle 1.1: Beispiel für eine Versuchsanordnung zum negativen Priming. Die Versuchsperson soll immer das fett gedruckte Wort lesen und das andere Wort ignorieren. Wenn das zu lesende Wort zuvor ignoriert werden musste, kommt es zum negativen Priming-Effekt.

	negatives Priming	kein negatives Priming
Prime-Display	Kreis Baum	Kreis Maus
Probe-Display	Stein Baum	Kreis Baum

Es gibt drei alternative Erklärungsansätze zum negativen Priming: selektive Inhibition (Allport, Tipper & Chmiel, 1985), Feature-Mismatching (Lowe, 1979) und episodischer Abruf (Neill & Valdes, 1992). Die selektive Inhibition erklärt den Effekt dadurch, dass bei jedem Durchgang die irrelevante Information gehemmt wird. Wenn die gehemmte Information im darauf folgenden Durchgang relevant wird, dann muss die Hemmung erst überwunden werden, bevor auf die Information reagiert werden kann. Dies führt zu einer Verlängerung der Reaktionszeit. Nach der Feature-Mismatching-Theorie sind Unterschiede zwischen den Reizattributen der Prime-Items und denen der folgenden Probe-Items für das negative Priming verantwortlich. Wenn das relevante Reizattribut (zum Beispiel die Farbe, in der ein Wort geschrieben ist) einen Wert annimmt, der zuvor zum irrelevanten Reizattribut (zum Beispiel die inhaltliche Bedeutung eines Farbwortes) gehörte, dann muss erst dieser Widerspruch ausgeräumt werden, bevor auf das relevante Reizattribut reagiert werden kann. Ein solcher Widerspruch würde also beispielsweise dann entstehen, wenn auf die rote Schriftfarbe des Wortes "Blau" reagiert werden müsste, nachdem auf die grüne Schriftfarbe des Wortes "Rot" reagiert wurde.

Der episodische Abruf erklärt das negative Priming dadurch, dass bei der Präsentation eines Reizes eine vergangene Episode abgerufen wird, in der dieser Reiz ignoriert werden musste. Solche Episoden beinhalten verschiedene Informationen wie beispielsweise die Identität des Reizes, seine Position, seine Relevanz und ob darauf reagiert werden soll oder nicht. Wenn man nun auf einen Reiz reagieren soll, der zuvor ignoriert wurde, dann stimmen die Informationen der aktuellen und der vorangegangenen Episode nicht überein. Da dieser Widerspruch zuerst gelöst werden muss, wird die Reaktionszeit verlängert. Fehler entstehen hier dadurch, dass sich die automatisch abgerufene Reaktion der letzten Episode durchsetzt, bevor der Widerspruch aufgelöst werden kann.

Es gibt empirische Belege für und gegen alle drei Theorien und keine der Theorien kann alle Phänomene erklären. Eine Theorie zum prozeduralen Lernen, ähnlich dem episodischen Abruf beim Priming, ist die Instance-Theorie von Logan (1988). Logan ist der Meinung, dass auf einen Reiz gerichtete Aufmerksamkeit zwangsläufig dazu führt, dass die gesamte Episode enkodiert wird und alle Episoden, die eine frühere Begegnung mit demselben Reiz beinhalten abgerufen werden. Zudem besagt die Theorie, dass jede Episode als separate Gedächtnisspur abgespeichert wird. Das Einüben einer bestimmten Reaktion auf einen Reiz führt hier nicht zu einer Verstärkung der Verbindung zwischen Reiz und Reaktion, sondern zu einer Anhäufung von einzelnen Spuren, die den Reiz mit der Reaktion assoziieren. Je mehr solcher Spuren vorhanden sind, desto schneller kann die entsprechende Reaktion aus dem Gedächtnis abgerufen werden. Ein Prozess wird hier automatisiert, durch einen Wechsel von der Anwendung eines expliziten Algorithmus (Sammlung von Regeln) hin zum impliziten Gedächtnisabruf. Der Wechsel findet statt, sobald genügend Spuren vorhanden sind, um den Gedächtnisabruf schneller ablaufen zu lassen als die Anwendung des Algorithmus.

Prozedurales Lernen und Aufgabenwechsel

Während sich Priming auf der Ebene von Reizattributen abspielt, lassen sich auch auf der Ebene von Aufgaben sequentielle Effekte beobachten. Das

Aufgabenwechsel-Paradigma ist eine oft verwendete Methode zur Untersuchung von Mechanismen der exekutiven Kontrolle (z.B. Allport et al, 1994; Meiran, 1996; Meiran, Chorev & Sapir, 2000; Rogers & Monsell, 1995). Dabei müssen die Versuchspersonen zwischen Aufgaben hin und her wechseln. Zum Beispiel soll ein Reiz einmal nach seiner Farbe kategorisiert werden (zum Beispiel linke Taste für rot und rechte Taste für blau) und in der anderen Aufgabe nach seiner Form (zum Beispiel linke Taste für Kreis und rechte Taste für Dreieck).

Damit man eine Aufgabe ausführen kann, ohne sich von der anderen ablenken zu lassen, wird eine stabile interne Repräsentation der aktuellen Aufgabe benötigt. Diese Repräsentationen werden Task-Sets genannt (Rogers & Monsell, 1995). Man nimmt an, dass Task-Sets die Konfiguration perzeptueller und motorischer Prozesse sowie Prozesse von Aufmerksamkeit und Gedächtnis spezifizieren (Mayr & Keele, 2000). Durch Erfahrung mit einer Aufgabe lernt das System, möglichst schnell das benötigte Task-Set zu aktivieren. Die Übung sorgt dafür, dass das Task-Set verstärkt wird, zum Beispiel durch Verstärkung von Verbindungen zwischen Reiz-Kategorien und Reaktionen. Bei einem Aufgabenwechsel entstehen Kosten. Das heißt, es dauert länger, auf eine neue Aufgabe zu reagieren als auf dieselbe wie zuvor.

Wichtig für die Entstehung von Aufgabenwechsel-Effekten ist die Überlappung der Reiz-Sets der verschiedenen Aufgaben sowie ihrer Reaktions-Sets (Fagot, 1994; Meiran, 2000; Rubinstein, Meyer & Evans, 2001; Schuch & Koch, 2003). Die Reiz-Sets überlappen, wenn in den verschiedenen Aufgaben auf verschiedene Dimensionen derselben Reize reagiert wird (zum Beispiel für die eine Aufgabe auf die Form und für die andere auf die Farbe eines Reizes). Die verwendeten Reize sind also mehrdeutig. Die Reaktions-Sets überlappen, wenn für jede Aufgabe dieselben Reaktionen mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet werden (zum Beispiel linker Knopf für Rot und für Kreis, und rechter Knopf für Blau und für Dreieck). Wenn die Aufgaben mit verschiedenen Reizen assoziiert sind (zum Beispiel Zahlen für die eine Aufgabe und Formen für die andere Aufgabe), dann sind die Wechselkosten wesentlich geringer (Allport et al., 1994; Poulsen &

Segalowitz, 1999; Rogers & Monsell, 1995), da der Reiz nur die jeweils relevante Aufgabe aktiviert. Durch die Überlappung von Reiz- und Reaktions-Sets entstehen kongruente und inkongruente Reize. Unter kongruenten Reizen versteht man solche, die für alle Aufgaben dieselbe Reaktion erfordern. In unserem Beispiel wäre dies zum Beispiel ein roter Kreis, da sowohl der Kreis als auch die Farbe Rot eine Reaktion mit der linken Taste verlangen. Bei inkongruenten Reizen dagegen widersprechen sich die Reaktionen, die die verschiedenen Aufgaben fordern (hier zum Beispiel ein blauer Kreis oder ein rotes Dreieck).

Man nimmt an, dass hauptsächlich zwei Komponenten zu den Wechselkosten beitragen (Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995; Ruthruff, Remington, & Johnston, 2001; Sohn & Anderson, 2001). Die erste Komponente beinhaltet den Aufwand, mit dem es verbunden ist, sich von einem aktiven Task-Set zu lösen (z.B. Meiran, 1996). Dies ist nötig, da das System neu konfiguriert werden muss. Wenn man den Versuchspersonen mehr Zeit gibt, um sich auf die neue Aufgabe vorzubereiten, indem man das Intervall zwischen Hinweisreiz und Reiz (Cue-Stimulus-Intervall) verlängert, dann verschwindet diese Komponente allmählich und die Wechselkosten werden kleiner. Jedoch bleiben auch bei sehr langem Intervall residuale Wechselkosten übrig (Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995). Die residualen Wechselkosten entstehen durch die zweite Komponente, die proaktive Interferenz. Für die proaktive Interferenz gibt es zwei Klassen von Erklärungen, die eine Klasse basiert auf Aktivierung, die andere auf assoziativen Lerneffekten.

Bei der aktivationsbasierten Erklärung geht es darum, dass in jedem Durchgang die relevante Aufgabe aktiviert und die irrelevante gehemmt wird (Allport et al., 1994; Goschke, 2000; Hübner, Kluwe, Luna-Rodriguez, & Peters, 2004; Mayr & Keele, 2000; Schuch & Koch, 2003). Wechselkosten kommen also entweder durch persistierende Inhibition der aktuell relevanten Aufgabe zustande oder durch persistierende Aktivierung der vorher relevanten Aufgabe. Um zwischen diesen beiden Mechanismen unterscheiden zu können, muss man mindestens drei Aufgaben verwenden. Mayr und Keele (2000) haben in einer Reihe von

Experimenten gezeigt, dass die residualen Wechselkosten zumindest zum Teil durch Inhibition des zuvor aktiven Task-Sets zustande kommen. Dieser Effekt alternierender Wechselkosten, den Mayr und Keele *Backward Inhibition* nennen, findet man beim Vergleich zwischen alternierenden (Aufgabenfolge ABA) und nicht alternierenden (Aufgabenfolge CBA) Aufgabenwechseln. Um Aufgabe B ausführen zu können, muss die davor aktive Aufgabe gehemmt werden. Im dritten Durchgang dauert es länger, die zuvor gehemmte Aufgabe auszuführen als zu einer dritten Aufgabe zu wechseln, da bei einem alternierenden Wechsel zuerst die Hemmung überwunden werden muss. Die alternierenden Wechselkosten können nicht durch negatives Priming erklärt werden, da sie auch auftreten können, wenn sich keine Reizattribute wiederholen. Allerdings zeigt sich der Effekt alternierender Wechselkosten nur unter ganz bestimmten Bedingungen. Wie diese Bedingungen genau aussehen, ist noch nicht vollständig geklärt. In einer Studie von Schuch und Koch (2003) beispielsweise hat sich Backward Inhibition nur dann gezeigt, wenn eine passende Reaktion ausgewählt werden musste, nicht aber bei einer Aufgabe, auf die nicht oder nur unspezifisch reagiert werden sollte. Arbutnott und Woodward (2002) haben gezeigt, dass mit räumlichen Hinweisreizen keine Backward Inhibition ausgelöst wurde, mit verbalen oder symbolischen Hinweisreizen dagegen schon.

Bei der lernbasierten Erklärung dagegen entstehen die residualen Wechselkosten nicht als Nebeneffekte des letzten Durchgangs, sondern durch Lerneffekte, die die zukünftige Leistung beeinflussen (Meiran, 2000; Waszak, Hommel, & Allport, 2003; Wylie & Allport, 2000). Die Verbindung zwischen den aufgabenspezifischen Reiz-Kategorien (in unserem Beispiel die Farben beziehungsweise Formen) und dem dazugehörigen Reaktions-Set (linke und rechte Taste und ihre jeweilige Zuordnung) wird bei der Bearbeitung einer Aufgabe verstärkt. Bei einer erneuten Bearbeitung derselben Aufgabe kann diese Verbindung abgerufen werden. Dies führt zu einer schnelleren oder genaueren Reaktion (Meiran, 2000). Bei einem Wechsel zu einer anderen Aufgabe wird jedoch die gelernte Verbindung durch den zweideutigen Reiz abgerufen und interferiert mit der aktuell relevanten, widersprüchlichen Verbindung. Diese Interferenz sorgt dafür, dass es länger

dauert, die aktuell relevante Verbindung zu aktivieren. Aus dieser Sicht scheinen die residualen Wechselkosten also etwas mit Priming zu tun zu haben, da durch den Reiz ein automatischer Gedächtnisprozess in Gang gesetzt wird.

Ein Fehler kann dadurch entstehen, dass eine unangemessene Strategie zur Lösung einer Aufgabe angewendet wird oder dadurch, dass eine angemessene Strategie falsch ausgeführt wird. Bezogen auf eine Wahlreaktionsaufgabe bedeutet dies, dass bei einem Fehler entweder die falsche Aufgabe bearbeitet wurde, oder dass auf die richtige Aufgabe falsch reagiert wurde. Bei kongruenten Reizen ergeben sich keine Fehler durch die Bearbeitung der falschen Aufgabe. Inkongruente Reize dagegen sind zweideutig und eine Aufgabenverwechslung führt zu einem Fehler.

Das Lernen von Fehlern beim Aufgabenwechsel

Steinhauser und Hübner (2006) haben mit ihrer Studie gezeigt, dass beim Aufgabenwechsel tatsächlich Fehler gelernt werden. Die Versuchspersonen sahen in jedem Durchgang eine Zahl, die sie beurteilen mussten. Es musste entweder bestimmt werden, ob die gezeigte Zahl gerade oder ungerade ist, oder ob sie kleiner oder größer ist als fünf. In einem Experiment sollten die Versuchspersonen nicht auf Fehler reagieren, in einem zweiten sollten sie ihre Fehler mit einer separaten Reaktionstaste signalisieren. In einem dritten Experiment sollten sie Fehler durch die richtige Reaktion korrigieren. Durch das signalisieren oder korrigieren der Fehler konnte sichergestellt werden, dass die entsprechenden Fehler vom kognitiven System registriert wurden. Es hat sich hier gezeigt, dass sowohl Fehler, auf die nicht weiter reagiert wurde, als auch signalisierte Fehler zu einem Wechselvorteil führen, während korrigierte Fehler die selben Wechselkosten verursachen wie korrekte Reaktionen. Ein Wechselvorteil bedeutet, dass die Reaktionszeit beim Wechsel der Aufgabe kürzer ist als bei einer Wiederholung der Aufgabe. Dieser entsteht dadurch, dass im vorigen Durchgang die falsche Aufgabe aktiv war und zu einem Fehler führte. Dadurch wird ein Wechsel zu dieser versehentlich durchgeführten Aufgabe begünstigt. Es ist hier lediglich von Fehlern die Rede, die durch Aufgabenverwechslungen entstehen, da

Reaktionsverwechslungen keinen systematischen Einfluss auf die Wechselkosten haben.

Ein Fehler kann nur signalisiert werden, wenn nach dem Fehler die richtige Reaktion und damit die richtige Aufgabe aktiviert wurde. Wenn also allein die Aktivierung der Aufgabe für die Wechseleffekte verantwortlich wäre, dann müssten signalisierte Fehler Wechselkosten zur Folge haben. Da sie aber zu einem Wechselvorteil geführt haben, bedeutet dies, dass nicht die Aktivierung der Aufgabe, sondern die Verstärkung der aufgaben-relevanten Assoziationen zum Zeitpunkt der fehlerhaften Antwort die Wechseleffekte erzeugt hat. Nur die Korrektur konnte die Assoziation zwischen der falschen Aufgabe und dem Reaktions-Set aufheben. Dies ist möglich, weil durch die Korrektur ein Gegengewicht zur Verstärkung der falschen Aufgabe entsteht. Das Hauptergebnis dieser Studie ist in Abbildung 1.1 schematisch dargestellt.

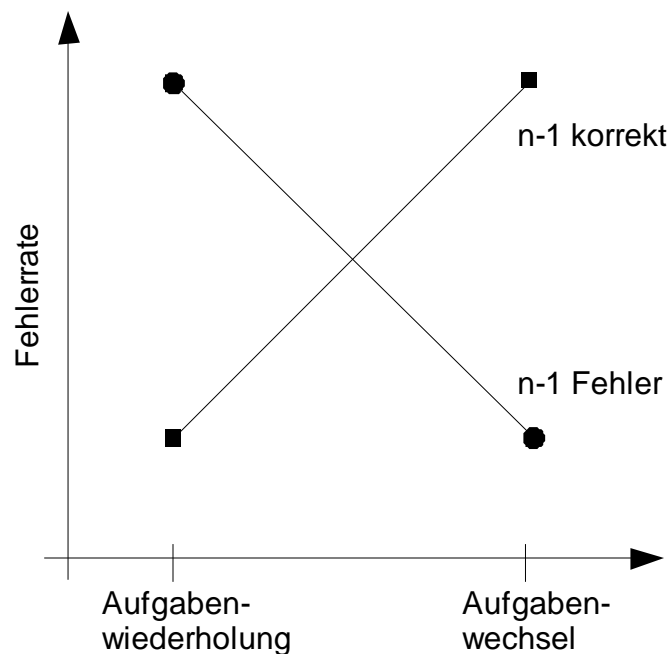


Abbildung 1.1: schematische Darstellung des Hauptergebnisses der Studie von Steinhauser und Hübner (2006). Bei einem Fehler im vorangegangenen Durchgang (n-1) liegt die Fehlerrate bei einer Aufgabenwiederholung höher als bei einem Aufgabenwechsel. Bei einer korrekten Reaktion im Durchgang n-1 verhält es sich umgekehrt.

Die aktuelle Studie

Aus der zusammengefassten Literatur wird also klar, dass sich anhand von Wahlreaktionsaufgaben prozedurales Lernen beobachten lässt. Da prozedurales Lernen implizit abläuft und es sich bei unserer Wahlreaktionsaufgabe um eine relativ einfache Aufgabe handelt, nehmen wir an, dass hier spätestens nach einer kurzen Übungsphase ebenfalls implizit gelernt wird. Zwar haben wir gesehen, dass es Modelle gibt, die überwachtes Lernen demonstrieren können, und Befunde zu Mechanismen, die die Erkennung von Fehlern ermöglichen, jedoch gibt es keine direkten empirischen Belege dafür, dass diese Mechanismen beim prozeduralen Lernen tatsächlich eine Rolle spielen. Hingegen spricht einiges dafür, dass implizites Lernen unüberwacht abläuft. So ist zum Beispiel selbst amnestischen Patienten, die nur über den impliziten Lernmechanismus verfügen, prozedurales Lernen in verschiedenen Aufgaben noch möglich (Brooks & Baddeley, 1976; Cohen & Squire, 1980).

Auch die Studie von Steinhauser und Hübner (2006) hat das Lernen von Fehlern demonstriert, allerdings nur auf indirektem Weg, da nur Effekte des vorangegangenen Durchgangs (n-1) untersucht wurden. Dadurch konnte lediglich gezeigt werden, welchen Einfluss ein Fehler auf den nachfolgenden Durchgang hat. Die aktuelle Studie soll dagegen den direkten Weg einschlagen und zeigen, welchen Einfluss ein Fehler in einer bestimmten Aufgabe auf die nächstfolgende Bearbeitung derselben Aufgabe hat. Um dies untersuchen zu können, ist die Verwendung von mindestens drei Aufgaben nötig, da so mehr Variationen von Sequenzen dargeboten werden können. Zudem können längere Abstände zwischen zwei Präsentationen einer Aufgabe untersucht werden, ohne dass die Häufigkeit der anderen Aufgabe damit konfundiert wird. In der Analyse der aktuellen Studie werden die einzelnen Durchgänge also danach kategorisiert, ob dieselbe Aufgabe beim letzten Mal korrekt oder falsch gelöst wurde, unabhängig davon, wie weit diese letzte Bearbeitung zurück liegt. Steinhauser und Hübner dagegen haben die Durchgänge mit Aufgabenwechsel danach kategorisiert, ob die Aufgabe im vorangegangenen Durchgang korrekt oder falsch gelöst wurde.

Abbildung 1.2 zeigt einen grafischen Vergleich der Analyse-Methode der aktuellen Studie mit der bei Steinhauser und Hübner (2006).

Wie wir gesehen haben, lassen sich sequenzielle Effekte sowohl auf der Ebene von Aufgaben als auch auf der Ebene von Reizen beobachten. Während Steinhauser und Hübner (2006) nur die Ebene der Aufgaben untersucht haben, soll in der aktuellen Studie zusätzlich analysiert werden, ob Fehler auch auf der Ebene der Reize gelernt werden. Durch die Verwendung von drei Aufgaben ist es zudem möglich, Backward Inhibition Effekte zu untersuchen.

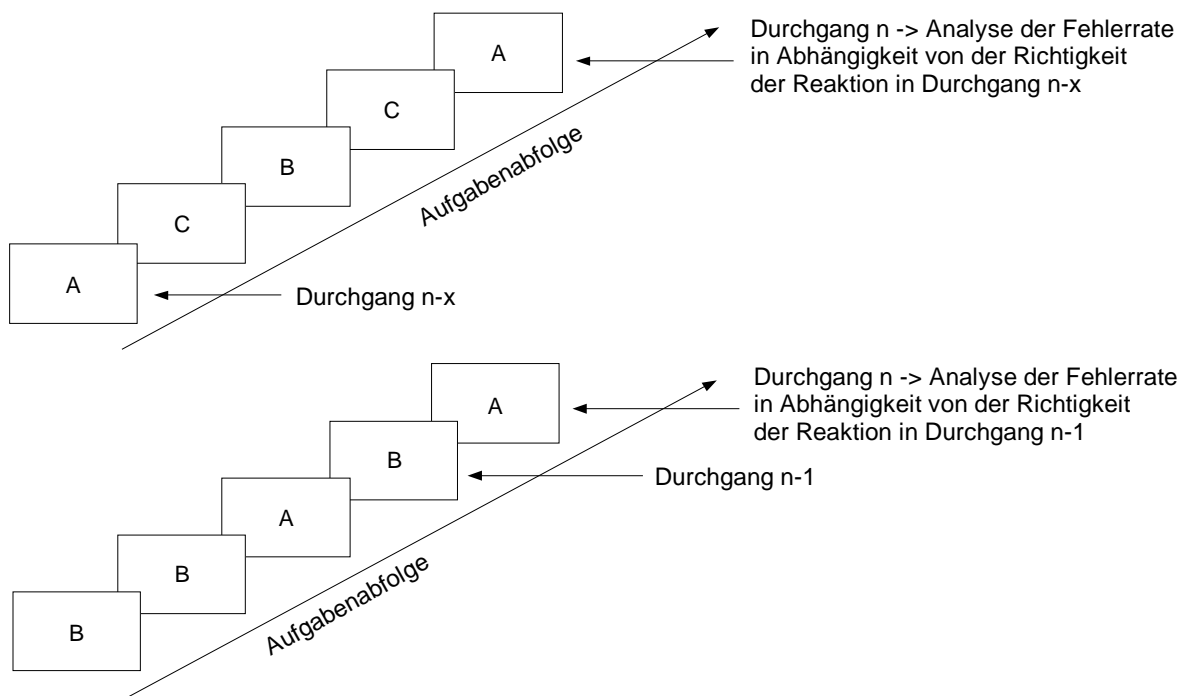


Abbildung 1.2: Oben: Analyse in der aktuellen Studie: zufällige Aufgabenabfolge von drei verschiedenen Aufgaben, Analyse in Durchgang n erfolgt aufgrund der Richtigkeit der Reaktion bei der letzten Bearbeitung derselben Aufgabe (Durchgang n-x). Unten: Analyse bei Steinhauser und Hübner (2006): Zufällige Abfolge von zwei Aufgaben, Analyse in Durchgang n erfolgt aufgrund der Richtigkeit der Reaktion im vorangegangenen Durchgang (n-1).

Wir haben für die aktuelle Untersuchung weitestgehend das Design von Mayr und Keele (2000) übernommen. Es handelt sich hier um eine "odd-item-out"-Aufgabe. Das heißt, die Versuchspersonen reagieren jeweils auf ein Objekt, das sich auf einer vorgegebenen Dimension (hier Farbe, Orientierung oder Größe) von den übrigen unterscheidet. Pro Dimension gab es drei Werte, einen neutralen und zwei abweichende. Pro Darbietung war jede Dimension dreimal mit dem neutralen Wert vertreten und einmal mit einem der beiden möglichen Abweicher. Die Reaktion erfolgte über die Position des Abweichers. Die vier Reaktionstasten erhielten also durch die Vorgabe der Aufgabe (Dimension) die Bedeutung "Abweicher oben links", "Abweicher oben rechts", "Abweicher unten links", "Abweicher unten rechts". Um schnellere Reaktionen und dadurch höhere Fehlerraten zu induzieren, wurde für die Reaktionszeit eine Deadline gesetzt. Die Deadline wurde akustisch signalisiert, und die Versuchspersonen wurden instruiert, vor dem Signal zu reagieren.

Anhand dieser Daten wollen wir untersuchen, welche Auswirkungen ein Fehler auf die Fehlerrate beim nächsten Auftreten derselben Aufgabe hat. Theorien zum unüberwachten Lernen würden vorhersagen, dass die Fehlerrate beim nächsten Auftreten der Aufgabe höher liegt, wenn beim letzten Mal falsch reagiert wurde, als wenn die Reaktion beim letzten Mal korrekt war. Dies wird dadurch erklärt, dass der Fehler gelernt wird und sich daher die Leistung verschlechtert. Theorien zum überwachten Lernen dagegen würden erwarten, dass die Fehlerrate nach einem Fehler geringer wäre als nach einer korrekten Reaktion. Hier würde man nämlich annehmen, dass ein Überwachungsmechanismus dafür sorgt, dass nach einem Fehler Maßnahmen eingeleitet werden, die die zukünftige Leistung in der entsprechenden Aufgabe verbessern. Abbildung 1.3 zeigt die vier Bedingungen der aktuellen Studie.

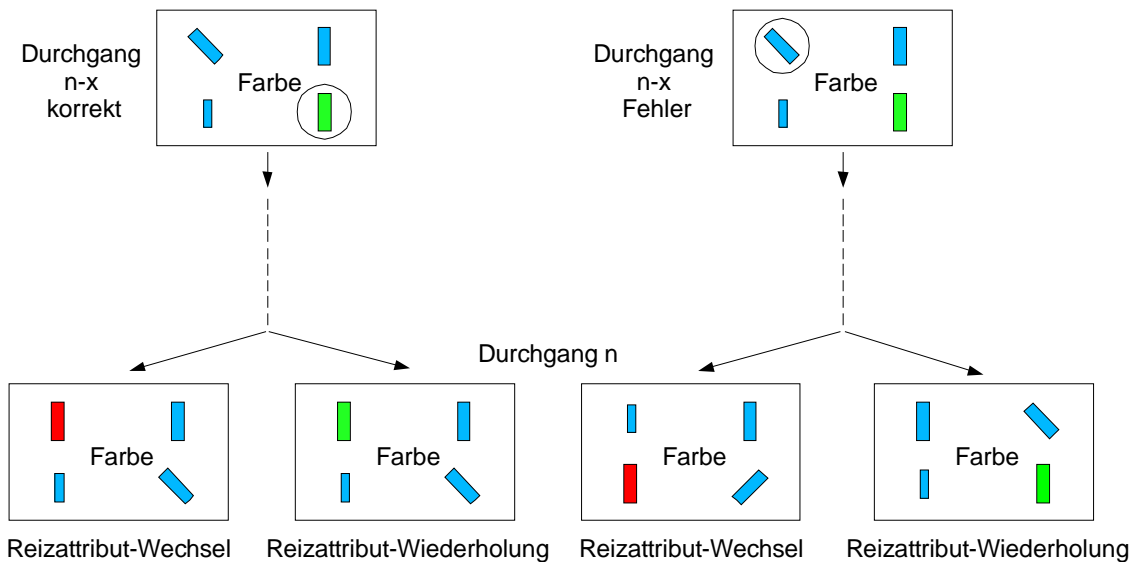


Abbildung 1.3: Die vier Bedingungen der aktuellen Studie: Wiederholung der Aufgabe in Durchgang n-x mit gleich bleibendem und mit wechselndem Reizattribut, jeweils nach einer korrekten Reaktion in Durchgang n-x (linke Hälfte) und nach einem Fehler in Durchgang n-x (rechte Hälfte). Die Reaktion in Durchgang n-x wird durch einen Kreis dargestellt.

Die Analyse auf der Ebene der Reize soll zeigen, ob auch auf dieser Ebene gelernt wird und auf welche Weise. Wenn hier, wie wir annehmen, ebenfalls unüberwacht gelernt wird, dann sollte die Fehlerrate nach einem Fehler bei der letzten Bearbeitung höher liegen, wenn das Reizattribut wiederholt wird, als wenn das Reizattribut wechselt. Dies würde man deshalb erwarten, weil bei unüberwachtem Lernen die Assoziation des entsprechenden Reizattributs zur aufgetretenen Reaktion verstärkt wird, unabhängig davon, ob die Reaktion richtig oder falsch war. Dadurch wird das erneute Auftreten einer falschen Reaktion begünstigt. Überwachtes Lernen hingegen würde für eine Wiederholung des Reizattributs eine geringere Fehlerrate vorhersagen als beim Wechsel, da hier nur die Assoziation zwischen dem Reizattribut und einer korrekten Reaktion verstärkt wird.

Obwohl die Instruktion im aktuellen Experiment die Versuchspersonen anhält, Fehler nicht zu korrigieren, werden vermutlich trotzdem Korrekturen auftreten. Aus eigener Erfahrung wissen wir, dass manche Versuchspersonen Korrekturen

unterdrücken können, während dies anderen sehr schwer fällt. Daher stellen wir trotz der Instruktion zur Unterdrückung der Korrekturen eine Hypothese zu deren Auswirkung auf. Die Korrektur eines Fehlers sollte bei unüberwachtem Lernen den Effekt des Fehlers abschwächen oder sogar aufheben, da bei unüberwachtem Lernen jede auftretende Reaktion verstärkt wird. Die Korrektur würde also die richtige Reaktion verstärken und damit ein Gegengewicht liefern zur Verstärkung der falschen Reaktion. Man würde also erwarten, dass die Fehlerrate nach einem korrigierten Fehler geringer ist als nach einem unkorrigierten Fehler. Bei überwachtem Lernen dagegen sollten sich die Auswirkungen von korrigierten und unkorrigierten Fehlern nicht unterscheiden, da hier Fehler (unabhängig von einer Korrektur) registriert und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden können. Da wir durch die Deadline für die Reaktionszeit eine hohe Fehlerrate induzieren, erwarten wir vor allem Effekte in den Fehlerraten. Nebst den Lerneffekten würden wir erwarten, dass sich in den Daten alternierende Wechselkosten zeigen, da Mayr und Keele mit demselben Design diesen Effekt demonstrieren konnten. Wir stellen daher die folgenden drei Hypothesen auf:

Hypothese 1: Fehler werden gelernt auf Ebene der Aufgabe.

Wir erwarten, dass ein Fehler in einer bestimmten Aufgabe dazu führt, dass bei der nächsten Bearbeitung derselben Aufgabe die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler steigt, im Vergleich zur erneuten Bearbeitung der Aufgabe nach einer korrekten Reaktion. Ebenso erwarten wir, dass sich die Reaktionszeit nach einem Fehler verlängert, im Vergleich zur erneuten Bearbeitung der Aufgabe nach einer korrekten Reaktion.

Hypothese 2: Fehler werden gelernt auf Ebene des Reizes.

Wenn sich beim erneuten Auftauchen einer vorher falsch gelösten Aufgabe das Reizattribut wiederholt, erwarten wir, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler höher liegt als bei einem Reizattribut-Wechsel. Ebenso erwarten wir, dass die Reaktionszeit nach einem Fehler länger ist, wenn das Reizattribut wechselt, als wenn sich das Reizattribut wiederholt. Wenn also zum Beispiel in der Farbaufgabe mit dem roten Abweicher ein Fehler gemacht wurde, sollte beim nächsten

Auftreten der Farbaufgabe mit dem roten Abweicher eine höhere Fehlerrate, beziehungsweise eine längere Reaktionszeit gemessen werden als mit dem grünen Abweicher.

Hypothese 3: Die Korrektur eines Fehlers schwächt seine Auswirkung ab.

Wenn eine Aufgabe falsch gelöst, danach aber korrigiert wird, erwarten wir, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler bei der nächsten Bearbeitung geringer ist als nach einem unkorrigierten Fehler. Ebenso erwarten wir, dass die Reaktionszeit nach einem korrigierten Fehler kürzer ist als nach einem unkorrigierten Fehler.

Hypothese 4: Alternierende Wechselkosten.

In einer Aufgabenfolge der Form ABA sollte die Reaktionszeit im dritten Durchgang länger sein als beim dritten Durchgang in einer Aufgabenabfolge der Form CBA.

METHODE

Versuchspersonen

Zwölf Studenten der Universität Konstanz im Alter von 20 bis 30 Jahren nahmen an diesem Experiment teil. Sieben Versuchspersonen waren weiblich (Alter 20-30, $m = 22,57$ Jahre, $s = 3,41$ Jahre) und fünf männlich (Alter 21-24, $m = 22,60$, $s = 1,14$ Jahre). Insgesamt betrug das Durchschnittsalter 22,58 Jahre und die Standardabweichung 2,61 Jahre. Alle Versuchspersonen waren Rechtshänder mit normaler oder korrigierter Sehstärke. Jeder Proband erhielt € 5 pro Stunde oder entsprechend Versuchspersonen-Pflichtstunden vergütet. Eine Versuchsperson wies in einer Aufgabe eine Fehlerrate von mehr als 50% auf. Dieser Datensatz wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Apparate

Das Experiment wurde in einer abgedunkelten Kammer durchgeführt. Die Reizdarbietung wurde über einen 20 Zoll Computerbildschirm dargeboten. Das akustische Signal wurde über Computerlautsprecher dargeboten. Reaktionen wurden über eine Computertastatur registriert.

Reizmaterial

In jedem Display wurde ein quadratischer weißer Rahmen von 15cm Seitenlänge mittig auf dem Bildschirm gezeigt. Der Bildschirm-Hintergrund war schwarz. In der Mitte jedes Quadranten des Rahmens wurde ein Balken präsentiert. Die vier Balken konnten auf drei Dimensionen unterschieden werden. Diese Dimensionen waren Farbe, Größe und Ausrichtung. Auf jeder Dimension gab es drei Ausprägungen, von der jeweils eine als neutral definiert wurde und zwei als abweichend. In jeder Darbietung gab es für jede der drei Dimensionen einen Abweicher und folglich einen Balken, der auf allen drei Dimensionen neutrale Werte aufwies. Die neutrale Farbe war hellblau, die neutrale Ausrichtung war senkrecht und die neutrale Größe betrug 0,3cm x 1,0cm. Die abweichende Farbe war entweder rot oder grün, die Ausrichtung konnte um 45° nach links oder nach rechts abweichen und die abweichenden Größen betrugten entweder 50% der

Breite und 75% der Länge oder 200% der Breite und 150% der Länge der neutralen Größe. Abbildung 2.1 stellt die Maße der Reizdarbietung anhand eines Beispiels grafisch dar.

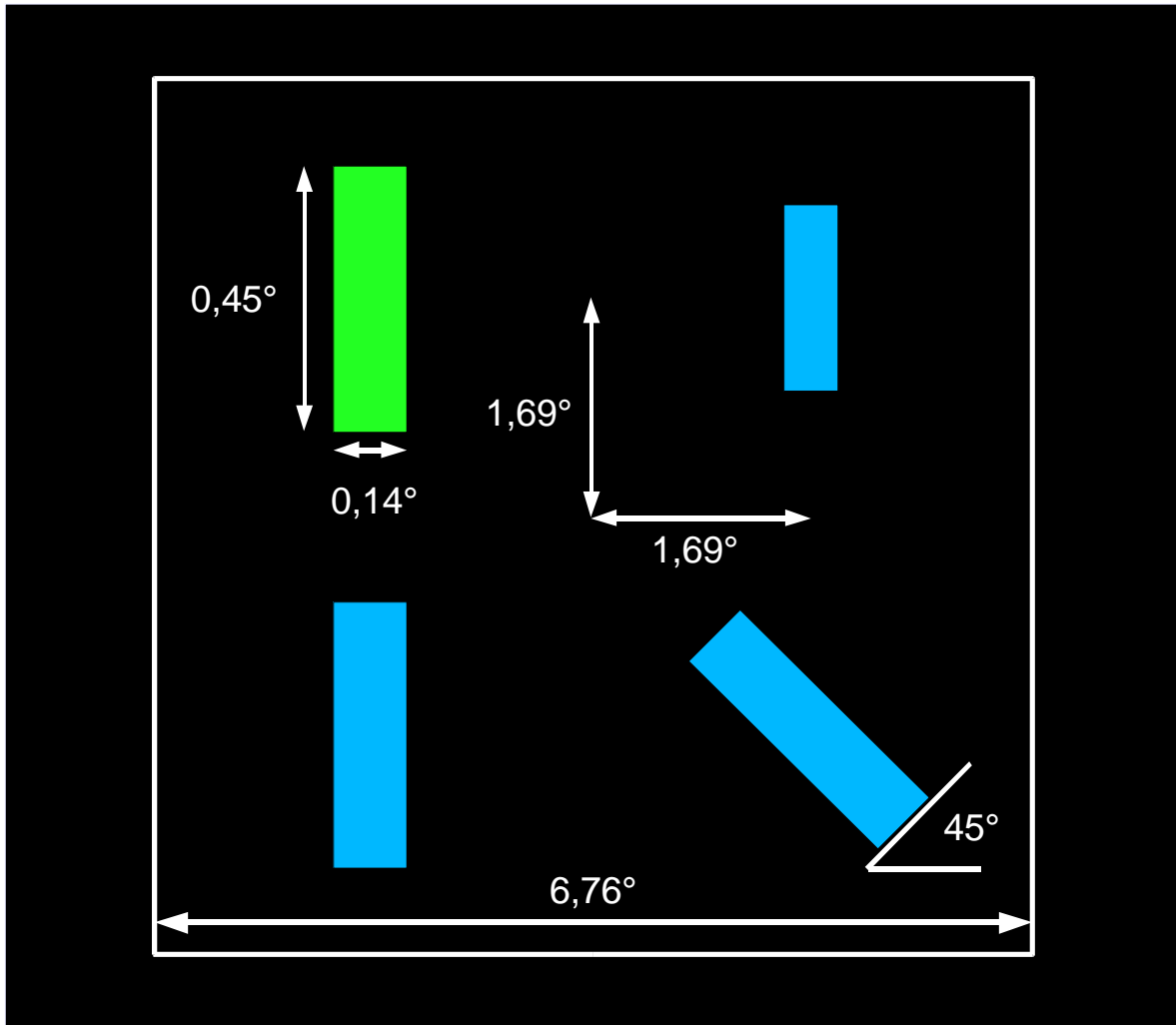


Abbildung 2.1: Grafische Darstellung der Maße und des Aufbaus einer Reizdarbietung anhand eines Beispiels. Die Maße sind in Grad-Sehwinkel angegeben.

Die Hinweisreize für die jeweils relevante Aufgabe wurden als Schriftzug in der Mitte des Bildschirms dargeboten und wiesen alle einen vertikalen Sehwinkel von $0,34^\circ$ auf. Die horizontalen Sehwinkel waren für den Schriftzug "Farbe" $1,49^\circ$, für den Schriftzug "Größe" $1,62^\circ$ und für den Schriftzug "Richtung" $2,39^\circ$. Zu Beginn

jedes Blocks wurde der Schriftzug "Start" mit einem Sehwinkel von $3,70^\circ$ horizontal und $1,35^\circ$ vertikal eingeblendet. Bei zu langsamen Reaktionen wurde der Schriftzug "schneller" mit einem Sehwinkel von $3,79^\circ$ horizontal und $0,68^\circ$ vertikal dargeboten.

Prozedur

In jedem Durchgang sollten die Versuchspersonen auf den Balken reagieren, welcher sich auf der im Hinweisreiz angegebenen Dimension (Farbe, Größe oder Richtung) von den übrigen unterschied. Die Reaktion sollte über die räumlich entsprechende Taste erfolgen: [A] für oben links mit dem linken Mittelfinger, [Y] für unten links mit dem linken Zeigefinger, [ä] oben rechts mit dem rechten Mittelfinger und [-] für unten rechts mit dem rechten Zeigefinger.

Die einzelnen Durchgänge waren wie folgt aufgebaut: Der verbale Hinweisreiz wurde in der Mitte des Bildschirms visuell präsentiert. Nach 800ms erschienen zusätzlich die vier Balken. Die Balken und der Hinweisreiz blieben so lange stehen, bis eine Reaktion erfolgte. Nach Ablauf der jeweiligen Deadline wurde für 150ms ein 800Hz-Ton präsentiert. 1000ms nach der Reaktion folgte der nächste Hinweisreiz. Abbildung 2.2 zeigt die grafische Darstellung des zeitlichen Ablaufs eines Durchgangs.

Jede Versuchsperson wurde einzeln getestet. Zu Beginn jeder Sitzung wurden die schriftlichen Instruktionen erteilt. Darin wurden die Versuchspersonen angehalten, so genau und so schnell wie möglich zu reagieren. Nach der Hälfte der ersten Sitzung wurde durch eine weitere schriftliche Instruktion auf das in den folgenden Blöcken zusätzlich auftretende akustische Signal hingewiesen. Die Versuchspersonen wurden instruiert, ihre Reaktion möglichst vor diesem Signal abzugeben. Hier wurde betont, dass die Geschwindigkeit gegenüber der Genauigkeit auf jeden Fall Vorrang habe. Zu Beginn der zweiten und dritten Sitzung wurde jeweils zur Erinnerung eine verkürzte schriftliche Instruktion abgegeben, in der die Aufgabe noch einmal zusammengefasst wurde. Die Instruktionstexte finden sich im Anhang.

Nach jedem Block folgte eine kurze Pause. Wenn der Versuchsleiter eine besonders niedrige Fehlerrate feststellte, wurde die Versuchsperson angehalten, schneller zu reagieren. Zu Beginn jedes neuen Blocks erschien zunächst ein Endloslauf von Testreizen. Durch drücken einer beliebigen Reaktionstaste konnte die Versuchsperson den Endloslauf beenden und den Experimentalblock starten. Jede Sitzung dauerte zwischen 45 und 60 Minuten.

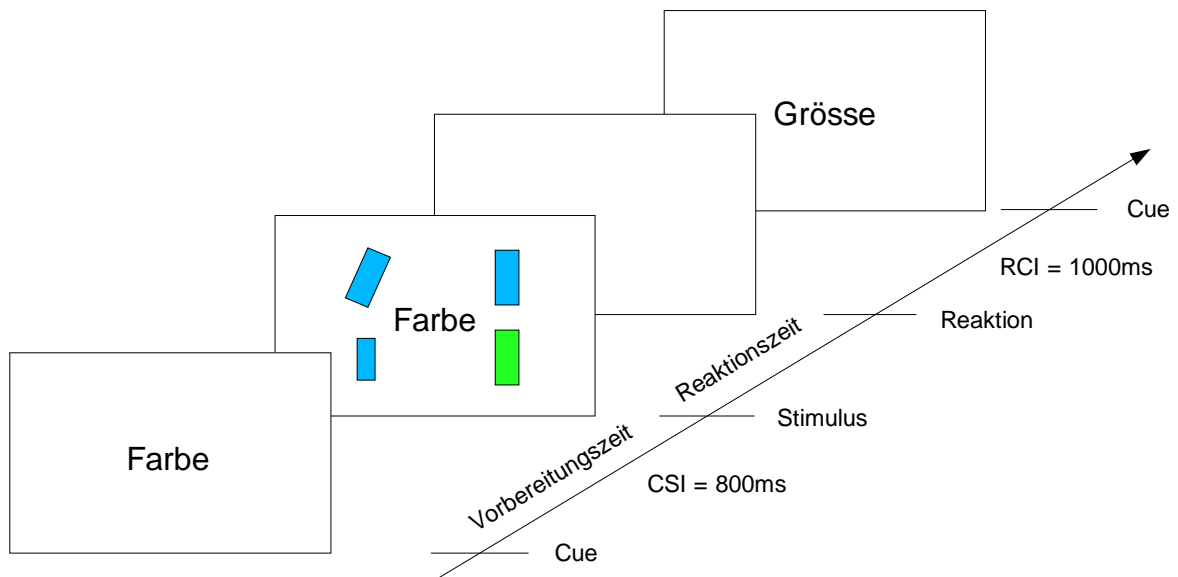


Abbildung 2.2: Grafische Darstellung des zeitlichen Ablaufs eines Durchgangs. Cue = Hinweisreiz, CSI = Cue-Stimulus-Intervall, RCI = Reaktion-Cue-Intervall, ms = Millisekunden.

Design

Jeder Proband absolvierte drei Sitzungen mit je zwölf Blöcken an drei aufeinander folgenden Tagen. Insgesamt gab es 192 mögliche Reizdarbietungen, von denen jede viermal pro Aufgabe präsentiert wurde. Die daraus resultierenden 2304 Durchgänge wurden so auf zwei Sitzungen mit je zwölf Blöcken verteilt, dass pro Aufgabe und Sitzung jeder Reiz zweimal vorkam. Innerhalb der Blöcke wurden die Durchgänge so randomisiert, dass keine Aufgabenwiederholungen stattfanden.

Die erste Sitzung diente lediglich der Übung, diese Daten wurden daher nicht analysiert. Diese Übungssitzung bestand aus zweimal sechs Blöcken, wobei innerhalb von sechs Blöcken jeder mögliche Reiz mit jeder Aufgabe einmal vorkam. Die ersten sechs Blöcke der Übungssitzung erfolgten ohne akustisches Signal. Für die zweite Hälfte der Sitzung wurde der Median der Reaktionszeiten des sechsten Blocks als Deadline-Intervall (Abstand zwischen Reiz-Präsentation und akustischem Signal) verwendet. Vor Beginn der zweiten Sitzung wurde das Deadline-Intervall neu eingestellt. Diesmal wurde der Median der Reaktionszeiten des letzten Blocks der Übungssitzung als Deadline-Intervall verwendet. Ab Beginn der zweiten Sitzung wurde das Wort "schneller" nur noch dargeboten, wenn fünf zu langsame Reaktionen aufeinander folgten. Jede Versuchsperson bekam die gleiche Block-Abfolge dargeboten. Jeder Block bestand aus 96 Durchgängen.

Statistische Auswertung

Zur Auswertung der gemessenen Reaktionszeiten und Fehler wurden die Programme Matlab und Statistica verwendet.

RESULTATE

Der erste Abschnitt berichtet die mittleren Fehlerraten. Danach folgen die drei durchgeführten Analysen. Die erste Analyse vergleicht die Auswirkung von korrekten Reaktionen mit der von unkorrigierten Fehlern. Die zweite Analyse vergleicht die Auswirkung von unkorrigierten Fehlern mit der von korrigierten Fehlern. Die dritte Analyse vergleicht die Auswirkung von korrekten Reaktionen mit der von korrigierten Fehlern. Die Korrekturen werden mit beiden anderen Kategorien verglichen, um zu sehen, ob sie in den Werten einer der anderen beiden Kategorien entsprechen. Die Bezeichnung "Durchgang n-x" bezieht sich im Folgenden immer auf die letzte Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe.

In der Aufgabe *Größe* wurde in 22.8% der Fälle falsch reagiert, in der Aufgabe *Orientierung* waren es 11.7% und in der Aufgabe *Farbe* 5.0%. Obwohl die Versuchspersonen angehalten wurden, Fehler nicht zu korrigieren, kam es relativ häufig zu Korrekturen. Die mittleren Korrekturzeiten waren relativ kurz. Tabelle 3.1 zeigt die relativen Häufigkeiten von Korrekturen pro Aufgabe, sowie die Reaktions- und Korrekturzeiten. Um die Fehlerraten zu analysieren wurde eine Arcussinus-Transformation durchgeführt (Winer, Brown & Michels, 1991). Diese Transformation wird durchgeführt, weil relative Häufigkeiten nicht die Voraussetzungen der Varianzanalyse erfüllen, da Mittelwerte und Varianzen nicht unabhängig sind.

Tabelle 3.1: Relative Häufigkeiten von Korrekturen pro Aufgabe und die jeweiligen Reaktions- und Korrekturzeiten.

	A1 korrekt			A1 falsch		
	%	RZ1 (ms)	RZ2 (ms)	%	RZ1 (ms)	RZ2 (ms)
Farbe						
nicht korrigiert	99.4	363	-	48.5	325	-
korrigiert	0.6	*	*	51.5	355	103
Größe						
nicht korrigiert	99.7	475	-	81.6	444	-
korrigiert	0.3	*	*	18.4	476	100
Orientierung						
nicht korrigiert	99.2	410	-	72.4	406	-
korrigiert	0.8	*	*	27.6	420	96

A1 = erste Reaktion, RZ1 = Reaktionszeit der ersten Reaktion, RZ2 = Zeit zwischen erster Reaktion und Korrektur, ms = Millisekunden, % = relative Häufigkeit in Prozent, * zu wenig Daten vorhanden für die Berechnung

Vergleich zwischen korrekten Reaktionen und unkorrigierten Fehlern

Abbildung 3.1 zeigt die mittleren Reaktionszeiten und Fehlerraten für alle Bedingungen. Mittlere Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Aufgabe* (Farbe, Orientierung, Größe), *Reizattribut in Durchgang n-x* (gleich, verschieden) und *Richtigkeit in Durchgang n-x* (korrekte Reaktion, unkorrigierter Fehler) zugeführt. Korrigierte Fehler wurden hier nicht berücksichtigt.

Sowohl in den Fehlerraten als auch in den Reaktionszeiten zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen allen drei Faktoren, $F(2, 22) = 10.35$, $p < 0.01$ für die Fehlerraten und $F(2,22) = 12.58$, $p < 0.01$ für die Reaktionszeiten. Daher wird im Folgenden jede Aufgabe einzeln analysieren.

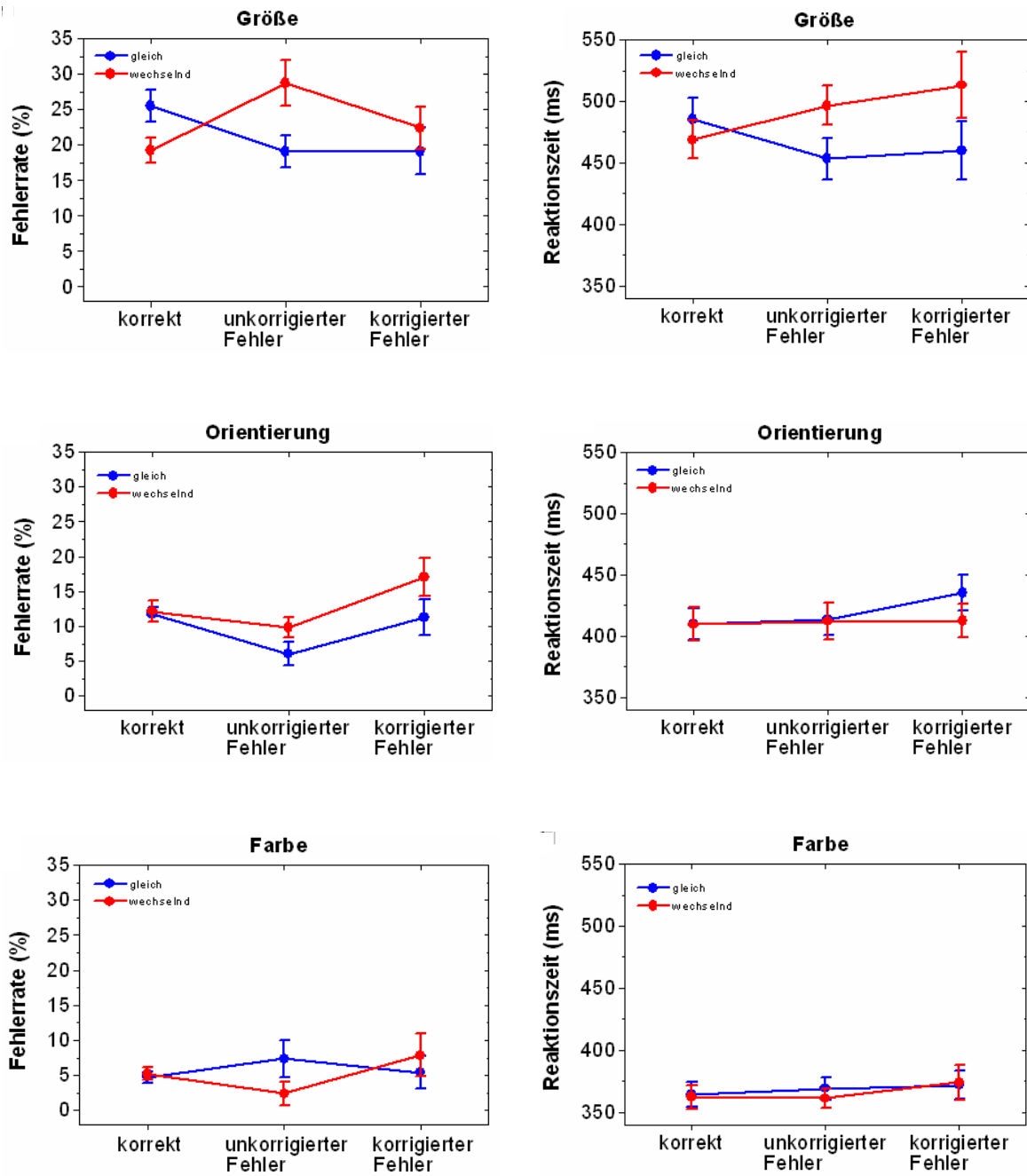


Abbildung 3.1: Fehlerraten und Reaktionszeiten in den verschiedenen Bedingungen. Links: Fehlerraten in Prozent, rechts: Reaktionszeiten in Millisekunden. Jeweils auf der linken Seite nach korrekter Reaktion in Durchgang n-x, in der Mitte nach einem unkorrigierten Fehler in Durchgang n-x und auf der rechten Seite nach einem korrigierten Fehler in Durchgang n-x. Blaue Linien für gleich bleibendes Reizattribut und rote Linien für wechselndes Reizattribut.

Größenaufgabe

In den Fehlerraten zeigt sich hier eine signifikante Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x*, $F(1,11) = 15.53$, $p < 0.01$. Wie in Abbildung 3.1 zu erkennen, ist die Fehlerrate bei wechselndem Reizattribut nach einem Fehler im Durchgang n-x höher (28.8%) als nach einer korrekten Reaktion (19.3%). Bei gleich bleibendem Reizattribut verhält es sich umgekehrt (25.5% nach korrekter Reaktion und 19.1% nach einem Fehler). Der Unterschied zwischen *n-x Fehler* und *n-x korrekt* in den Fehlerraten ist signifikant, sowohl bei gleich bleibendem Reizattribut, $F(1,11) = 14.70$, $p < 0.01$, als auch bei wechselndem Reizattribut, $F(1,11) = 8.37$, $p < 0.05$.

Auch in den Reaktionszeiten zeigt sich eine signifikante Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x*, $F(1,11) = 16.01$, $p < 0.01$. Das Muster entspricht dem der Fehlerraten. Bei wechselndem Reizattribut liegt die mittlere Reaktionszeit nach einem Fehler höher (497ms) als nach einer korrekten Reaktion (469ms). Bei gleich bleibendem Reizattribut liegt die mittlere Reaktionszeit nach einem Fehler höher (453ms) als nach einer korrekten Reaktion (486ms). Der Unterschied zwischen *n-x Fehler* und *n-x korrekt* ist auch in den Reaktionszeiten signifikant, $F(1,11) = 15.4$, $p < 0.01$ bei gleich bleibendem Reizattribut und $F(1,11) = 9.38$, $p < 0.05$ bei wechselndem Reizattribut.

Orientierungsaufgabe

In den Fehlerraten wird der Haupteffekt für den Faktor *Richtigkeit in Durchgang n-x* signifikant, $F(1,11) = 12.73$, $p < 0.01$. Die mittlere Fehlerrate nach korrekter Reaktion liegt höher (11.9%) als nach einem unkorrigierten Fehler (7.9%). Der Haupteffekt für den Faktor *Reizattribut in Durchgang n-x* ist nur marginal signifikant, $F(1,11) = 3.54$, $p = 0.09$. Bei wechselndem Reizattribut liegt die mittlere Fehlerrate tendenziell höher (13.0%) als bei gleich bleibendem Reizattribut (9.7%). Auch die Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* in den Fehlerraten ist nur marginal signifikant, $F(1,11) = 3.34$, $p = 0.09$. Tendenzuell ist der Unterschied zwischen *n-x korrekt* und *n-x Fehler* größer bei gleich bleibendem als bei wechselndem Reizattribut. Wie in

Abbildung 3.1 in der mittleren Grafik auf der rechten Seite zu sehen, zeigen sich in dieser Aufgabe keine Reaktionszeiteffekte.

Farbaufgabe

Hier zeigen sich keine signifikanten Effekte. Die Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* in den Fehlerraten ist marginal signifikant, $F(1,11) = 3.93$, $p = 0.07$. Bei gleich bleibendem Reizattribut liegt die mittlere Fehlerrate nach einem Fehler höher (7.4%) als nach einer korrekten Reaktion (4.8%). Bei wechselndem Reizattribut verhält es sich umgekehrt (5.2% nach einer korrekten Reaktion und 2.4% nach einem Fehler).

Der Haupteffekt für den Faktor *Reizattribut in Durchgang n-x* in den Reaktionszeiten ist ebenfalls marginal signifikant, $F(1,11) = 4.07$, $p = 0.07$. Die mittlere Reaktionszeit ist tendenziell bei gleich bleibendem Reizattribut länger (369ms) als bei wechselndem Reizattribut (366ms).

Vergleich zwischen unkorrigierten und korrigierten Fehlern

Mittlere Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden einer drei-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Aufgabe* (Farbe, Orientierung, Größe), *Reizattribut in Durchgang n-x* (gleich, verschieden) und *Fehler in Durchgang n-x* (unkorrigierter Fehler, korrigierter Fehler) zugeführt. Korrekte Reaktionen wurden hier nicht berücksichtigt.

Fehlerraten

In den Fehlerraten zeigt sich hier ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Aufgabe*, $F(2,22) = 25.34$, $p < 0.01$. Die höchste Gesamt-Fehlerrate zeigt sich in der Größenaufgabe (22.3%) gefolgt von der Orientierungsaufgabe (11.0%) und der Farbaufgabe (5.8%). Ebenfalls signifikant wird der Haupteffekt für den Faktor *Reizattribut in Durchgang n-x*, $F(1,11) = 8.43$, $p < 0.05$. Nach wechselndem Reizattribut liegt die mittlere Fehlerrate höher (14.7%) als nach gleich bleibendem Reizattribut (11.4%). Auch die Interaktionen zwischen den Faktoren *Aufgabe* und *Fehler in Durchgang n-x* erreicht Signifikanz, $F(2,22) = 4.01$, $p < 0.05$. In der

Größenaufgabe liegt die Fehlerrate nach unkorrigierten Fehlern höher als nach korrigierten Fehlern (23.9% versus 20.8%). Für die anderen beiden Aufgaben verhält es sich umgekehrt (7.9% nach unkorrigierten Fehlern und 14.2% nach korrigierten Fehlern in der Orientierungsaufgabe, 4.9% nach unkorrigierten Fehlern und 6.6% nach korrigierten Fehlern in der Farbaufgabe). Zwischen den Faktoren *Aufgabe* und *Reizattribut in Durchgang n-x* zeigt sich ebenfalls eine signifikante Interaktion, $F(2,22) = 3.57$, $p < 0.05$. Bei der Farbaufgabe zeigt sich bei gleich bleibendem Reizattribut eine höhere Fehlerrate (6.4%) als bei wechselndem Reizattribut (5.1%). Bei den beiden anderen Aufgaben verhält es sich umgekehrt (gleich bleibendes Reizattribut: 19.1% bei der Größenaufgabe und 8.7% bei der Orientierungsaufgabe; wechselndes Reizattribut: 25.6% bei der Größenaufgabe und 13.4% bei der Orientierungsaufgabe).

Reaktionszeiten

Der Haupteffekt für den Faktoren *Aufgabe* wird signifikant, $F(2,22) = 67.82$, $p < 0.01$. Die längste Reaktionszeit zeigt sich bei der Größenaufgabe (481ms), gefolgt von der Orientierungsaufgabe (419ms). Die Farbaufgabe zeigt mit 369ms die kürzeste Reaktionszeit. Auch der Haupteffekt für den Faktor *Fehler in Durchgang n-x* erreicht Signifikanz, $F(1,11) = 7.22$, $p < 0.05$. Nach korrigierten Fehlern sind die Reaktionszeiten länger (428ms) als nach unkorrigierten Fehlern (418ms). Außerdem findet sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Aufgabe* und *Reizattribut in Durchgang n-x*, $F(2,22) = 4.91$, $p < 0.05$. Bei der Aufgabe *Größe* ist die Reaktionszeit bei wechselndem Reizattribut länger (505ms) als bei gleich bleibendem Reizattribut (457ms). Bei den übrigen Aufgaben verhält es sich umgekehrt (Orientierungsaufgabe: wechselndes Reizattribut: 412ms, gleich bleibendes Reizattribut: 425ms; Farbaufgabe: wechselndes Reizattribut: 368ms, gleich bleibendes Reizattribut: 371ms).

Vergleich zwischen korrekten Reaktionen und korrigierten Fehlern

Mittlere Reaktionszeiten und Fehlerraten wurden einer drei-faktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Aufgabe* (Farbe, Orientierung, Größe), *Reizattribut in Durchgang n-x* (gleich, verschieden) und

Richtigkeit in Durchgang n-x (korrekte Reaktion, korrigierter Fehler) zugeführt. Unkorrigierte Fehler wurden hier nicht berücksichtigt. Da sich in den Reaktionszeiten eine signifikante Interaktion aller drei Faktoren zeigt, $F(2,22) = 4.74$, $p < 0.05$, werden auch hier die drei Aufgaben einzeln analysiert.

Größenaufgabe

Hier zeigt sich lediglich eine signifikante Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* in den Fehlerraten, $F(1,11) = 5.47$, $p < 0.05$. Wie in Abbildung 3.1 oben links zu erkennen, ist die Fehlerrate bei wechselndem Reizattribut nach einem korrigierten Fehler im Durchgang n-x höher (22.4%) als nach einer korrekten Reaktion (19.3%). Bei gleich bleibendem Reizattribut verhält es sich umgekehrt (25.5% nach korrekter Reaktion und 19.1% nach einem korrigierten Fehler). Bei gleich bleibendem Reizattribut ist der Unterschied in den Fehlerraten zwischen *n-x korrekt* und *n-x Korrektur* signifikant, $F(1,11) = 5.71$, $p < 0.05$. Bei wechselndem Reizattribut wird der Unterschied nicht signifikant.

In den Reaktionszeiten zeigt sich dasselbe Muster wie in den Fehlerraten, allerdings ist hier die Interaktion zwischen den Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* lediglich marginal signifikant, $F(1,11) = 3.45$, $p = 0.09$. Tendenziell ist die Reaktionszeit bei wechselndem Reizattribut nach einem korrigierten Fehler im Durchgang n-x höher (513ms) als nach einer korrekten Reaktion (469ms). Bei gleich bleibendem Reizattribut verhält es sich umgekehrt (486ms nach korrekter Reaktion und 460ms nach einem korrigierten Fehler). Bei den Reaktionszeiten erreichen beide Unterschiede zwischen *n-x korrekt* und *n-x Korrektur* Signifikanz, $F(1,11) = 2.61$, $p = 0.13$ bei gleich bleibendem Reizattribut und $F(1,11) = 3.47$, $p = 0.09$ bei wechselndem Reizattribut.

Orientierungsaufgabe

In den Fehlerraten wird der Haupteffekt für den Faktor *Richtigkeit in Durchgang n-x* signifikant, $F(1,11) = 6.0$, $p < 0.05$. Die mittlere Fehlerrate nach einem korrigierten

Fehler liegt höher (13.8%) als nach einer korrekten Reaktion (13.1%). Der Haupteffekt für den Faktor *Reizattribut in Durchgang n-x* ist in den Fehlerraten nur marginal signifikant, $F(1,11) = 3.46$, $p = 0.09$. Bei wechselndem Reizattribut liegt die mittlere Fehlerrate tendenziell höher (14.6%) als bei gleich bleibendem Reizattribut (11.5%). Auch die Interaktion der beiden Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* ist in den Fehlerraten nur marginal signifikant, $F(1,11) = 3.60$, $p = 0.09$. Bei wechselndem Reizattribut ist der Unterschied in den Fehlerraten zwischen *n-x korrekt* und *n-x Korrektur* signifikant, $F(1,11) = 8.23$, $p < 0.05$. Bei gleich bleibendem Reizattribut wird der Unterschied nicht signifikant.

Nach einem korrigierten Fehler ist die mittlere Reaktionszeit länger (424ms) als nach einer korrekten Reaktion (410ms). Dieser Haupteffekt des Faktors *Richtigkeit in Durchgang n-x* ist signifikant, $F(1,11) = 5.19$, $p < 0.05$, ebenso der Haupteffekt für den Faktor *Reizattribut in Durchgang n-x*, $F(1,11) = 5.78$, $p < 0.05$. Bei gleich bleibendem Reizattribut ist die mittlere Reaktionszeit länger (420ms) als bei wechselndem Reizattribut (412ms). Auch die Interaktion der Faktoren *Richtigkeit in Durchgang n-x* und *Reizattribut in Durchgang n-x* erreicht bei den Reaktionszeiten Signifikanz, $F(1,11) = 10.18$, $p < 0.01$. Bei gleich bleibendem Reizattribut ist der Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen *n-x korrekt* und *n-x Korrektur* signifikant, $F(1,11) = 9.15$, $p < 0.01$. Bei wechselndem Reizattribut wird der Unterschied nicht signifikant.

Farbaufgabe

Der einzige Effekt der hier Signifikanz erreicht, ist der Haupteffekt des Faktors *Richtigkeit in Durchgang n-x* in den Fehlerraten. Die Fehlerrate nach einem korrigierten Fehler liegt höher (6.6%) als nach einer korrekten Reaktion (5.0%).

Alternierende Wechselkosten

In dieser Analyse wurden die Durchgänge klassifiziert nach alternierenden und nicht alternierenden Aufgabenwechseln. Den alternierenden Durchgängen wurden all jene Durchgänge zugeteilt, denen im Durchgang n-2 dieselbe Aufgabe

vorangegangen war. Den nicht-alternierenden Durchgängen wurden all jene Durchgänge zugeteilt, denen die beiden anderen Aufgaben vorangingen.

Der Unterschied zwischen alternierende und nicht-alternierende Durchgänge wird lediglich in den Fehlerraten signifikant, $F(1,10) = 8.6$, $p < 0.05$. Alternierende Aufgabenfolgen zeigen geringere Fehlerraten (13.7%) als nicht-alternierende Aufgabenwechsel (14.3%).

DISKUSSION

Ziel dieser Studie war es, die Auswirkung von Fehlern auf die nachfolgende Leistung in Wahlreaktionsaufgaben zu untersuchen. Bei Wahlreaktionsaufgaben soll auf unterschiedliche Reize verschieden reagiert werden. Dabei geht es um prozedurales Lernen, also den Erwerb von Fertigkeiten. Die Untersuchung sollte zeigen, ob in dieser Art von Aufgaben überwacht oder unüberwacht gelernt wird. Unüberwachtes Lernen bedeutet, dass falsche Reaktionen mit der jeweiligen Aufgabe oder dem jeweiligen Reiz assoziiert werden und sich damit einprägen. Überwachtes Lernen dagegen bedeutet, dass Fehler zu einer Verbesserung der Leistung führen, da die Verbindung zur falschen Reaktion durch die negative Konsequenz geschwächt wird. Zu diesem Zweck ließen wir zwölf Versuchspersonen zwischen drei Aufgaben hin und her wechseln. In jedem Durchgang waren vier Balken zu sehen, von denen einer eine andere Größe, einer eine andere Farbe und einer eine andere Orientierung als die übrigen aufwies, während der vierte auf allen drei Dimensionen neutral war. Die Versuchspersonen sollten jeweils auf den Balken reagieren, der auf der durch den Hinweisreiz angegebenen Dimension von den anderen abwich. Bei unüberwachtem Lernen würde man erwarten, dass sich ein Fehler negativ auf die zukünftige Leistung auswirkt, da beim Hebb'schen Lernmechanismus Verbindungen zwischen Repräsentationen, die gemeinsam aktiv sind (zum Beispiel eine bestimmte Aufgabe und eine bestimmte Reaktion) entstehen und verstärkt werden (Donald Hebb, 1949). Bei überwachtem Lernen dagegen, würde man erwarten, dass sich die Leistung nach einem Fehler verbessert, da hier nur Verbindungen verstärkt werden, die eine erwünschte Konsequenz haben (Thorndike, 1898).

Hypothesen

In der aktuell vorliegenden Literatur gibt es mehrere Hinweise auf unüberwachtes Lernen. Zum einen stammen diese aus Experimenten auf neuronaler Ebene (Hebb, 1949), zum anderen aus Experimenten zu fehlerlosem Lernen (Baddeley & Wilson, 1994). Empirische Belege für überwachtes prozedurales Lernen gibt es dagegen kaum. Daher besagen unsere Hypothesen, dass sowohl auf der Ebene

der Aufgaben als auch auf der Ebene der Reizattribute unüberwacht gelernt wird. Wir würden also erwarten, dass die Fehlerrate ansteigt, wenn die entsprechende Aufgabe zuletzt falsch gelöst wurde. Bei gleich bleibendem Reizattribut würden wir eine Verstärkung des Effekts erwarten, da die Verstärkung des Fehlers hier auf zwei Ebenen stattfinden kann (Aufgabe und Reizattribut). Bei der Korrektur eines Fehlers würden wir eine Abschwächung des Effekts erwarten. Die Korrektur sollte dem Effekt des Fehlers entgegenwirken, da hier sowohl die falsche als auch die richtige Reaktion auftreten und somit beide verstärkt werden. Um unsere Hypothesen zu prüfen, haben wir drei Analysen durchgeführt. Die erste Analyse vergleicht die Auswirkung von korrekten Reaktionen mit der von Fehlern. Die zweite und die dritte Analyse untersuchen die Auswirkung von Korrekturen.

Ergebnisse

In unseren Ergebnissen weist die Größenaufgabe die höchsten Fehlerraten und die längsten Reaktionszeiten auf. In dieser Aufgabe verschlechtert sich die Leistung nach einem Fehler bei der letzten Bearbeitung, allerdings nur dann, wenn das Reizattribut wechselt. Wenn das Reizattribut gleich bleibt, dreht sich der Effekt um, das heißt, die Leistung ist dann besser nach einem Fehler als nach einer korrekten Reaktion bei der letzten Bearbeitung. Die übrigen zwei Aufgaben weisen deutlich geringere Fehlerraten und kürzere Reaktionszeiten auf und zeigen weniger deutliche Ergebnisse. Bei der Farbaufgabe scheint sich die Leistung nach einem Fehler bei gleich bleibendem Reizattribut zu verschlechtern und bei wechselndem Reizattribut zu verbessern, also genau gegenläufig zur Größenaufgabe. Dieser Effekt ist allerdings nur marginal signifikant. In der Orientierungsaufgabe liegt die Fehlerrate generell höher nach einer korrekten Reaktion als nach einem Fehler bei der letzten Bearbeitung der Aufgabe.

In der Größenaufgabe zeigt sich eine geringere Fehlerrate nach korrigierten Fehlern als nach unkorrigierten Fehlern. Diese Abschwächung des Effekts zeigt sich aber lediglich in den Fehlerraten. In den Reaktionszeiten unterscheiden sich hier unkorrigierte Fehler nicht von korrigierten Fehlern. In den anderen beiden Aufgaben zeigen sich höhere Fehlerraten nach korrigierten als nach unkorrigierten

Fehlern. Im Mittel über alle Aufgaben sind die Reaktionszeiten nach korrigierten Fehlern länger als nach unkorrigierten Fehlern.

Beantwortung der Hypothesen

Unsere Hypothese, dass die Fehlerrate nach vorangegangenem Fehler in derselben Aufgabe steigt, kann nicht generell bestätigt werden. Die Effekte auf Ebene der Reize scheinen sich von denen auf Ebene der Aufgaben zu unterscheiden. Da sich die Ergebnisse für die drei Aufgaben stark unterscheiden, müssen die Hypothesen für jede Aufgabe einzeln beantwortet werden.

Bei alleiniger Betrachtung der Größenaufgabe würden wir unsere erste Hypothese, dass Fehler auf Ebene der Aufgabe gelernt werden als bestätigt ansehen. Bei wechselndem Reizattribut wirkt sich ein Fehler negativ aus, das heißt, bei der nächsten Bearbeitung derselben Aufgabe steigt die Fehlerrate an. Die zweite Hypothese, dass Fehler auf Ebene des Reizattributs gelernt werden dagegen wird durch unsere Daten in der Größenaufgabe widerlegt. Bei gleich bleibendem Reizattribut wird nach einem Fehler die Leistung verbessert, das heißt, bei der nächsten Bearbeitung derselben Aufgabe sinkt die Fehlerrate. Die dritte Hypothese, die besagt dass Korrekturen den Effekt des Fehlers abschwächen, wird hier wiederum bestätigt. Nach einem korrigierten Fehler ist die Fehlerrate im Mittel geringer als nach einem unkorrigierten Fehler. Bei wechselndem Reizattribut (Aufgabenebene) unterscheidet sich die Fehlerrate nach einem korrigierten Fehler nicht von der Fehlerrate nach einer korrekten Reaktion. Bei gleich bleibendem Reizattribut (Reizebene) entspricht die Fehlerrate nach einem korrigierten Fehler der Fehlerrate nach einem unkorrigierten Fehler.

Innerhalb der Orientierungsaufgabe werden unsere Hypothesen nicht bestätigt. Hier zeigt sich eine grundsätzliche Verbesserung der Leistung nach einem Fehler. Fehler werden also weder auf der Ebene der Aufgabe noch auf der Ebene des Reizattributs gelernt. Die dritte Hypothese, dass eine Korrektur den Effekt eines Fehlers abschwächt, wird durch unsere Daten weder bestätigt noch widerlegt.

Nach einer Korrektur zeigt sich hier die schlechteste Leistung überhaupt. Dies lässt sich durch unsere theoretischen Überlegungen nicht erklären.

Die Farbaufgabe spricht tendenziell gegen unsere erste Hypothese, da sich bei wechselndem Reizattribut die Leistung nach einem Fehler nicht verschlechtert. Die zweite Hypothese scheint hingegen eher bestätigt, da sich bei gleich bleibendem Reizattribut die Leistung tendenziell verschlechtert, allerdings ist der Effekt lediglich marginal signifikant. Korrekturen bewirken auch hier eine generelle Verschlechterung der Leistung. Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht über die Hypothesen und ihre Beantwortung pro Aufgabe.

Tabelle 4.1: Übersicht über die Beantwortung der Hypothesen pro Aufgabe.

	Größe *	Orientierung	Farbe
Auf Ebene der Aufgabe werden Fehler gelernt	bestätigt	nicht bestätigt	nicht bestätigt
Auf Ebene des Reizattributs werden Fehler gelernt	nicht bestätigt	nicht bestätigt	bestätigt

* Entscheidend ist hier vor allem die Größenaufgabe, da die anderen beiden Aufgaben wesentlich geringere Datenmengen geliefert haben.

Interpretation

Aus der Zusammenfassung der Ergebnisse geht hervor, dass sich die Resultate für die verschiedenen Aufgaben stark unterscheiden. Aufgrund der geringen Fehlerraten sind jedoch die Ergebnisse der Aufgaben *Farbe* und *Orientierung* mit Vorsicht zu interpretieren. Die Ergebnisse der Größenaufgabe sind verlässlicher, da sich hier wesentlich höhere Fehlerraten gezeigt haben, und dadurch mehr Durchgänge für die Auswertung zur Verfügung standen. Die folgenden Überlegungen werden sich daher vorerst auf die Größenaufgabe konzentrieren. In

einem späteren Abschnitt werde ich dann noch einmal auf die Inkonsistenz der verschiedenen Aufgaben eingehen und mögliche Erklärungen dafür diskutieren.

Wir interpretieren unsere Ergebnisse dahingehend, ob das prozedurale Lernen überwacht oder unüberwacht vor sich geht. Wenn unüberwacht gelernt wird, bedeutet dies, dass alle auftretenden Reaktionen mit der jeweils aktiven Aufgabe und dem jeweiligen Reiz assoziiert werden. Dies führt zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass sich ein aufgetretener Fehler wiederholt. Wenn also Fehler zu einer Verschlechterung der Leistung führen, bedeutet dies, dass unüberwacht gelernt wurde. Bei überwachtem Lernen dagegen würden Fehler zu einer Verbesserung der Leistung führen. Ein Überwachungsmechanismus würde beim Auftreten eines Fehlers Maßnahmen einleiten, die die Wahrscheinlichkeit eines erneuten Auftretens dieses Fehlers verringern. Durch die Verwendung verschiedener Reizattribute innerhalb der Aufgaben konnten die Lernmechanismen auf verschiedenen Ebenen untersucht werden. Wenn das Reizattribut bei der letzten Bearbeitung ein anderes war als bei der aktuellen Bearbeitung, dann können sich lediglich Lerneffekte auf der Ebene der Aufgabe auswirken. Wenn dagegen das Reizattribut gleich bleibt, dann können sich sowohl auf der Ebene der Aufgabe als auch auf der Ebene des Reizattributs Lerneffekte bemerkbar machen.

Bei der Größenaufgabe steigt die Fehlerrate nach einem Fehler, wenn das Reizattribut wechselt, sinkt aber nach einem Fehler, wenn das Reizattribut gleich bleibt. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass zwar auf der Ebene der Aufgabe wie erwartet unüberwacht gelernt wird, dass jedoch auf der Ebene der Reizattribute Überwachung stattfindet. Auch die korrigierten Fehler sprechen für diese Interpretation. Bei gleich bleibendem Reizattribut haben korrigierte und unkorrigierte Fehler dieselbe Auswirkung. Dies lässt sich dadurch erklären, dass auf der Ebene des Reizattributs Fehler durch die Überwachung registriert werden und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, unabhängig davon, ob eine Korrektur erfolgt oder nicht. Bei wechselndem Reizattribut dagegen ist die Fehlerrate nach einer Korrektur geringer als nach einem unkorrigierten Fehler. Da auf der Ebene des Reizattributs eine Veränderung stattfindet, kann sich auf dieser

Ebene kein Lerneffekt zeigen. In dieser Situation kann also lediglich auf der Ebene der Aufgabe gelernt werden. Da auf Aufgaben-Ebene das Lernen unüberwacht abläuft, werden hier alle Reaktionen verstärkt, also sowohl die falsche Reaktion, die durch den Fehler aktiviert wurde als auch die korrekte Reaktion, die durch die Korrektur aktiviert wurde. Die Korrektur ist so in der Lage, den Auswirkungen des Fehlers entgegenzuwirken. Für das wechselnde Reizattribut unterscheidet sich die mittlere Fehlerraten nach einem korrigierten Fehler nicht von der nach einer korrekten Reaktion. Es scheint also, dass die Korrektur im unüberwachten Lernmechanismus den Einfluss des Fehlers aufhebt.

Die Ergebnisse auf Aufgaben-Ebene bestätigen die Befunde von Steinhauser und Hübner (2006). Diese Befunde zeigten, dass die Effekte, die beim Wechsel zwischen zwei Aufgaben entstehen, durch unüberwachte Lernmechanismen verursacht werden. Im Gegensatz zur aktuellen Studie mussten die Versuchspersonen bei Steinhauser und Hübner nur zwischen zwei Aufgaben hin und her wechseln. Auch hier bezogen sich die verschiedenen Aufgaben auf dieselben Reize. Bei der einen Aufgabe musste eine Zahl danach beurteilt werden, ob sie gerade oder ungerade ist, bei der anderen Aufgabe danach, ob die Zahl kleiner oder größer ist als fünf. Um die eine Aufgabe lösen zu können, ohne von der anderen abgelenkt zu werden, muss nach Rogers und Monsell (1995) das richtige Task-Set aktiv sein. Das heißt, die Pfade der aktuellen Aufgabe müssen voraktiviert und die der irrelevanten gehemmt werden. Der Wechsel zur anderen Aufgabe erfordert den Wechsel des Task-Sets. Dieser führt zu einer Verlängerung der Reaktionszeit, oder zu mehr Fehlern, wenn zu wenig Zeit zur Verfügung steht. Diese Effekte werden als Aufgabenwechselkosten bezeichnet. Nach einer korrekten Reaktion werden Aufgabenwechselkosten verursacht, da das Task-Set gewechselt werden muss. Wenn dagegen durch eine Aufgabenverwechslung ein Fehler auftritt, der unüberwacht gelernt wird, dann zeigt sich ein Aufgabenwechsellvorteil. Dies ist deshalb der Fall, weil durch die Reaktion auf die falsche Aufgabe, die Pfade der falschen Aufgabe verstärkt werden und der Wechsel zu dieser im folgenden Durchgang erleichtert wird. Diese Studie zeigt also genau wie die aktuelle Untersuchung, dass Fehler auf der Ebene der

Aufgaben unüberwacht gelernt werden. Allerdings handelt es sich hier, im Gegensatz zur aktuellen Studie, um einen indirekten Beleg. Steinhauser und Hübner haben die Auswirkung eines Fehlers im einen Durchgang auf den nächstfolgenden Durchgang analysiert. Die aktuelle Studie zeigt hingegen die Auswirkung eines Fehlers auf die nächstfolgende Bearbeitung derselben Aufgabe. Eine Ergänzung zur Studie von Steinhauser und Hübner ist außerdem die Untersuchung der Ebene der Reizattribute.

Ein Modell

Im Folgenden werde ich ein Netzwerkmodell beschreiben, um die Daten innerhalb der verschiedenen Lerntheorien zu diskutieren und um zu illustrieren, wie es möglich ist, für verschiedene Ebenen unterschiedliche Lernmechanismen zu implementieren. Mit Hilfe von Netzwerkmodellen können psychologische Daten simuliert werden. Daher werden solche Modelle häufig verwendet, um Theorien über neuronale Grundlagen eines Phänomens zu entwickeln oder zu überprüfen. Abbildung 4.1 zeigt eine vereinfachte graphische Darstellung eines solchen Modells für die aktuelle Versuchsanordnung.

Zur Beschreibung des Netzwerkmodells beziehe ich mich vor allem auf Rumelhart (1989). Netzwerkmodelle bestehen aus Einheiten, die über gewichtete Verbindungen miteinander verknüpft sind. Über die Verbindungen können sich die Einheiten gegenseitig aktivieren oder hemmen. Das Gewicht der Verbindung bestimmt, wie stark eine Einheit eine andere beeinflussen kann, was durch Lern-Erfahrung verändert werden kann. Die Einheiten bilden verschiedene Schichten. In Abbildung 4.1 sind die Verbindungen zwischen den Schichten durch Pfeile vereinfacht dargestellt. In einem tatsächlichen Modell wäre jede Einheit der untersten Schicht mit ihrer Entsprechung (gleiches Reizattribut und gleiche Position) in der mittleren Schicht verbunden. In der mittleren Schicht wäre zudem jede Einheit mit der korrespondierenden Position in der obersten Schicht verbunden. Über die unterste Schicht wird der Reiz eingelesen. Daher verfügt diese Schicht in unserem Fall über die vier Positionen, auf die die Reize eines Durchgangs verteilt sind, und für jede Position über alle Reizattribute, die in dem

Experiment vorkommen. Die Aktivierung in der untersten Schicht wird durch die Verbindungen an die mittlere und von dort an die oberste Schicht weitergegeben. Die oberste Schicht stellt die vier möglichen Reaktionen dar. Die Reaktion, die als erste einen festgelegten Schwellenwert überschreitet, wird ausgegeben. In den Schichten zwischen Ein- und Ausgabe kann eine weitere Verarbeitung der Informationen vorgenommen werden. In unserem Modell repräsentiert die mittlere Schicht die abstrakte Ebene der Aufgaben. Hier gibt es für jede Aufgabe die vier Positionen und für jede Position alle Reizattribute die innerhalb der jeweiligen Aufgabe vorkommen können. Das Modell wird so trainiert, dass innerhalb der Aufgaben nur die jeweiligen Abweicher über stark gewichtete Verbindungen zur Reaktionsschicht verfügen. Die Task-Demand-Schicht ist eine Instanz, die die Aufmerksamkeit für die relevante Aufgabe darstellt. Sie sorgt für eine Voraktivierung der Einheiten, die für die jeweils aktuelle Aufgabe relevant sind, beziehungsweise für die Hemmung der Einheiten, die für die aktuelle Aufgabe nicht benötigt werden (Botvinick et al., 2001). Die Überwachungsinstanz ermöglicht überwachtetes Lernen. Sie misst die Aktivität in der Reaktionsschicht und kann die Gewichte der Verbindungen zwischen den Schichten korrigierend beeinflussen.

Zu falschen Reaktionen kann es dadurch kommen, dass jede Einheit im Netzwerk zusätzlich zur Aktivierung, die durch den Reiz ausgelöst wird noch über eine zufällige Aktivierung verfügt, das so genannte Rauschen. In unserem Modell können die Informationen zudem über zwei verschiedene Pfade laufen. Die durchgezogenen schwarzen Pfeile zeigen den Pfad, der vom Reiz über die mittlere Schicht zur Reaktionsebene verläuft. Der zweite Pfad, dargestellt durch die gestrichelten Pfeile, läuft vom Reiz direkt zur Reaktionsebene. Auch hier ist jede Einheit der untersten Schicht mit der entsprechenden Position in der Reaktionsschicht verbunden. Diese direkten Verbindungen sind am stärksten für die auffälligsten Reize. Dadurch ist es dem Reiz möglich, die Reaktion auch unabhängig von der Aufgaben-Ebene zu beeinflussen.

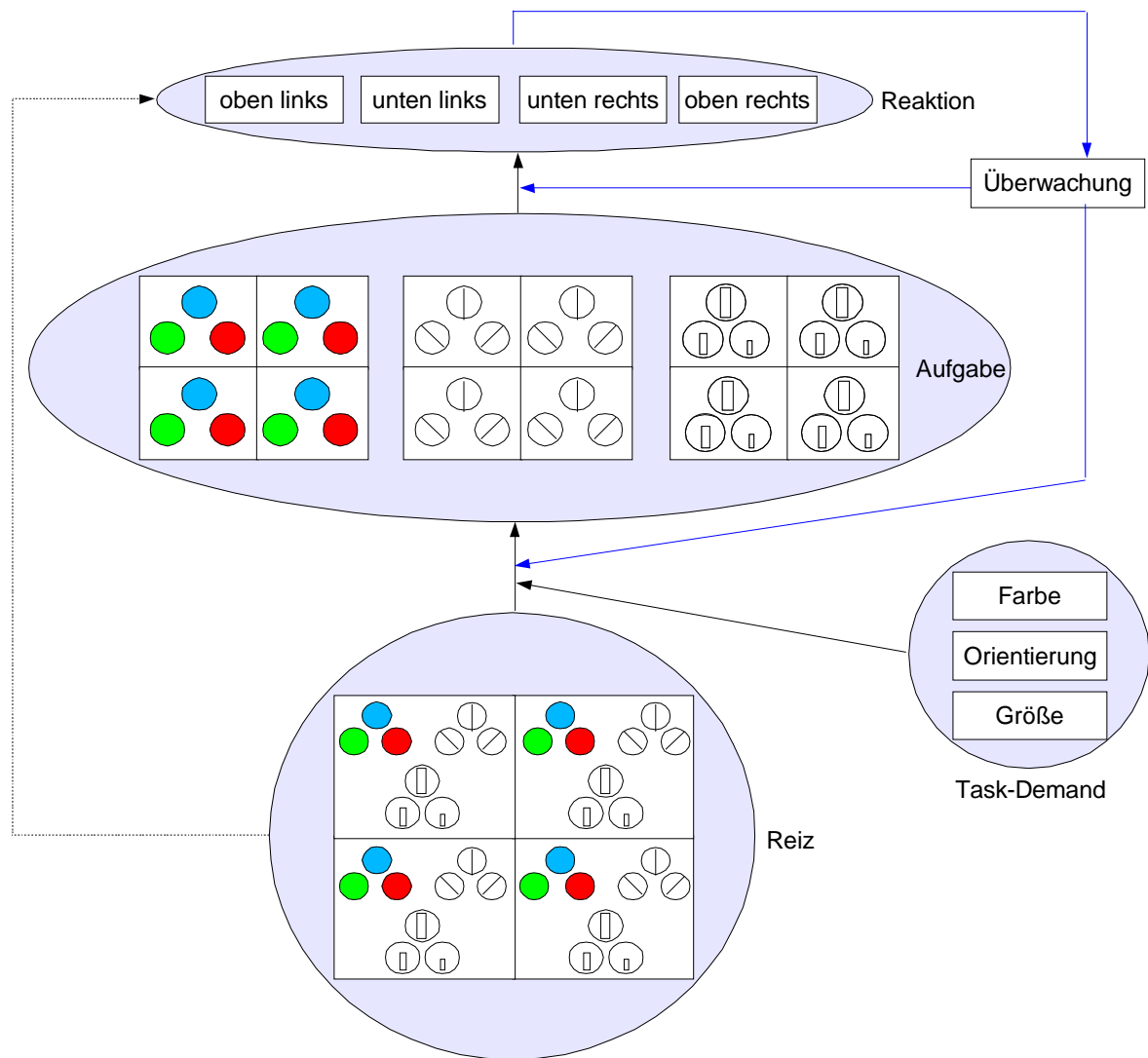


Abbildung 4.1: Grafische Darstellung eines Netzwerkmodells zur aktuellen Studie. Die Ebenen *Reiz*, *Aufgabe* und *Reaktion* bilden die drei Schichten des Modells. Zusätzlich gibt es die Instanzen *Task Demand* und *Überwachung*. Die schwarzen Pfeile illustrieren in vereinfachter Form die Verbindungen zwischen den drei Ebenen. Die blauen Pfeile stehen für den Informationsfluss von und zur Überwachungsinstanz. Der gestrichelte Pfeil zeigt eine direkte Verbindung von Reiz und Reaktion, über die die Reize je nach Auffälligkeit die entsprechenden Reaktionen direkt aktivieren können. Die Reizrepräsentation und jede Aufgabenrepräsentation ist in die vier Quadranten aufgeteilt, in denen sich die vier Balken eines Durchgangs befinden. In jedem dieser Quadranten finden sich Repräsentationen für alle Reizattribute, die dort vorkommen können.

Ein experimenteller Durchgang würde also wie folgt ablaufen: Über die Task-Demand-Schicht wird die Information über die im aktuellen Durchgang relevante Aufgabe eingegeben. Dies sorgt für eine Voraktivierung aller Einheiten der mittleren Schicht, die der relevanten Aufgabe entsprechen. Dann wird auf der untersten Ebene eine Reizdarbietung eingelesen. Das heißt, für jede Position wird für jedes der drei Reizattribute *Farbe*, *Größe* und *Orientierung* jeweils eine der drei möglichen Ausprägungen aktiviert, so dass für jede Reizdimension auf drei Positionen der neutrale und auf einer Position ein abweichender Wert aktiv ist. Über die Verbindungen wird die Aktivierung an die mittlere Schicht weiter gegeben. Die Voraktivierung durch die Task-Demand bewirkt, dass die Reizattribute der aktuellen Aufgabe die mittlere Schicht stärker beeinflussen als die übrigen Reizattribute. Von der mittleren Schicht aus wird die Aktivierung an die oberste Schicht weiter gegeben. Durch die stärker gewichteten Verbindungen können nur die Abweicher ihre jeweilige Position in der Reaktionsschicht stark beeinflussen. Gleichzeitig zur Weiterleitung über die verschiedenen Schichten läuft die Aktivierung der untersten Schicht auch noch über die direkten Verbindungen zur Reaktionsschicht. Die auf diesem Weg ausgelöste Aktivierung in der Reaktionsschicht ist umso stärker, je auffälliger das jeweilige Reizattribut ist.

Lerntheorien im Modell

Anhand unserer Daten schließen wir, dass auf Ebene der Aufgaben unüberwacht, auf Ebene der Reize dagegen überwacht gelernt wird. Das unüberwachte Lernen stellt den Grundmechanismus in unserem Modell dar. Die Verbindungen zwischen der mittleren und der obersten Schicht stellen das Gedächtnis für die Ebene der Aufgaben dar. Diese Verbindungen werden gemäß unserer Daten nur durch die Veränderungen des unüberwachten Lernmechanismus beeinflusst. Nach der Lerntheorie von Hebb werden Verbindungen zwischen gemeinsam aktiven Einheiten verstärkt. Nach dieser Theorie würden nach jedem Durchgang (sobald der eingelesene Reiz zu einer Reaktion geführt hat) die Gewichte der Verbindungen der gemeinsam aktiven Einheiten erhöht.

Nach der Instance-Theorie von Logan (1988) dagegen führt die auf einen Reiz gerichtete Aufmerksamkeit zwangsläufig dazu, dass die gesamte Episode enkodiert wird und alle Episoden, die eine frühere Begegnung mit demselben Reiz beinhalten, abgerufen werden. Nach dieser Theorie müssten am Ende jeden Durchgangs sämtliche Aktivierungen im Modell gespeichert und der entsprechenden Aufgabe zugeordnet werden. Beim erneuten Auftauchen der jeweiligen Aufgabe würden die dazu gehörenden Aktivierungen aus früheren Durchgängen abgerufen werden und so schneller zu einer Reaktion führen.

Die Verbindungen zwischen der untersten und der mittleren Schicht stellen das Gedächtnis der Ebene der Reize dar. Um unsere Daten zu simulieren müssen diese Verbindungen durch einen Überwachungsmechanismus beeinflusst werden. Die blauen Pfeile in Abbildung 4.1 repräsentieren den Informationsfluss von und zur Überwachungsinstanz. Die Registrierung von Fehlern kann in Netzwerkmodellen aufgrund von Informationen stattfinden, die durch die Verarbeitung des Reizes entstehen, so dass keine Rückmeldung über die Richtigkeit der Reaktion benötigt wird. Nach der Theorie von Botvinick et al. (2001) ist eine Möglichkeit dies in einem Modell zu realisieren die Messung des Reaktionskonflikts. Ein Reaktionskonflikt entsteht durch die gleichzeitige Aktivierung inkompatibler Reaktionen, also Reaktionen, die nicht gleichzeitig auftreten können. Dies kann dadurch zustande kommen, dass aufgrund von Rauschen eine falsche Reaktion stark aktiviert wird. Inkompatible Reaktionen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie durch Einheiten repräsentiert werden, die sich gegenseitig hemmen. Da nach dieser Theorie die Informationsverarbeitung nach einer Reaktion weiter läuft, überschreitet die richtige Reaktion auf jeden Fall ihren Schwellenwert. Beim Auftreten eines Fehlers setzt sich die richtige Reaktion erst nach der falschen durch. Dadurch sind kurz nach der Reaktion sowohl eine falsche als auch die korrekte Reaktion stark aktiviert. Das Netzwerk kann also einen Fehler daran erkennen, dass kurz nach der Reaktion der Reaktionskonflikt am höchsten ist (Botvinick et al., 2001; Yeung, Cohen & Botvinick, 2004). In unserem Modell nimmt die Überwachungsinstanz diese Messung vor. In unserer Versuchsanordnung hemmen sich alle möglichen Reaktionen gegenseitig.

Damit die Information über einen Fehler auch für die Verbesserung der zukünftigen Leistung genutzt werden kann, ist ein weiterer Mechanismus notwendig, der diese Information umsetzt. Nach Holroyd und Coles (2002) geschieht dies durch die Übermittlung eines Verstärkungs-Lernsignals. Diese Theorie besagt, dass das kognitive System bei einer bestimmten Reiz-Reaktions-Kombination eine bestimmte Konsequenz erwartet und diese Erwartung mit dem tatsächlichen Ergebnis vergleicht. Nach dieser Theorie verfügt die Überwachungsinstanz also über eine Erwartung bezüglich der Konsequenz einer Reaktion und über Informationen zur tatsächlichen Konsequenz. Die erwartete Konsequenz könnte der Verbindungsstärke zur jeweiligen Reaktion entsprechen. Bei einer starken Verbindung wäre die Erwartung positiv bei einer schwachen dagegen negativ. Die tatsächliche Konsequenz könnte der Übereinstimmung beziehungsweise Diskrepanz zwischen der tatsächlichen und der korrekten Reaktion entsprechen. Nach der Theorie der Reaktionskonflikt-Überwachung (Botvinick et al., 2001) wird die Information über die korrekte Reaktion durch die verlängerte Informationsverarbeitung nach der ausgegebenen Reaktion geliefert. Bei einer Übereinstimmung trotz schwacher Verbindung wäre die tatsächliche Konsequenz besser als erwartet, bei einer Diskrepanz trotz starker Verbindung hingegen schlechter als erwartet. Ist das Ergebnis besser als erwartet, so wird ein positives Verstärkungs-Lernsignal übermittelt, ist das Ergebnis schlechter als erwartet, dann ist das Verstärkungs-Lernsignal negativ. Ein positives Verstärkungs-Lernsignal erhöht die Verbindungsgewichte, ein negatives verringert sie. Die Daten amnestischer Patienten könnten durch die Deaktivierung der Überwachungsinstanz simuliert werden.

Inkonsistente Ergebnisse für die verschiedenen Aufgaben

Die Inkonsistenz der Ergebnisse über die verschiedenen Aufgaben hinweg ist vermutlich auf methodische Probleme zurück zu führen. Das Hauptproblem liegt in den unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden der Aufgaben. Sowohl die höheren Fehlerraten als auch die längeren Reaktionszeiten zeigen deutlich, dass die Größenaufgabe wesentlich schwieriger war als die übrigen beiden Aufgaben. Die gewählten Farben und Neigungswinkel der Balken scheinen deutlich stärker

hervorstechen als die gewählten Größenunterschiede. In Theorien zur visuellen Suche wird das Hervorstechen von Reizeigenschaften als "pop-out"-Effekt bezeichnet (Treisman & Gelade, 1980). Dieser scheint bei unserer Farbaufgabe noch stärker zu sein als bei unserer Orientierungsaufgabe.

Unsere Größenaufgabe ist also die schwierigste Aufgabe, gefolgt von der Orientierungsaufgabe, und unsere Farbaufgabe ist die einfachste. Wie in Tabelle 4.1 zu sehen, scheint es auf den beiden Lernebenen gegenläufige Übergänge zu geben. Auf der Ebene der Reizattribute geht es um konkret vorliegende Eigenschaften des Reizes, während es sich bei der Aufgabe um eine abstrakte Komponente der Situation handelt. Auf der konkreten Ebene zeigt sich überwachtes Lernen bei der schwierigen und bei der mittleren Aufgabe. Auf der abstrakten Ebene dagegen zeigt sich überwachtes Lernen bei der einfachen und bei der mittleren Aufgabe. Daher könnte man annehmen, dass die Überwachung der Reiz-Ebene nicht standardmäßig eingesetzt wird, sondern nur dann eingeschaltet wird, wenn die Schwierigkeit der Aufgabe dies erfordert. Da bei der einfachen Aufgabe der "pop-out"-Effekt direkt vom Reiz zur korrekten Reaktion führen kann, kommt es hier auch bei unüberwachtem Lernen zu relativ wenigen Fehlern. Die schwierige Aufgabe dagegen verursacht viele Fehler und es bedarf der Überwachung, um die Fehlerzahl zu verringern.

Möglicherweise kann die freie Kapazität bei einfachen Aufgaben der Überwachung der abstrakten Ebene zur Verfügung gestellt werden, so dass durch das unüberwachte Lernen auf Reizattribut-Ebene überwachtes Lernen auf der Ebene der Aufgabe möglich wird. Bei einer schwierigen Aufgabe hingegen muss die Reiz-Ebene überwacht werden, damit die richtige Reaktion gefunden werden kann. Daher könnten Reiz-Informationen dem Überwachungsmechanismus zur Verfügung gestellt werden. Für die Überwachung der abstrakten Ebene dagegen wäre vermutlich, mit steigender Schwierigkeit der Aufgabe, immer weniger Kapazität vorhanden. Wenn für das überwachte Lernen das mesenzephalische Dopaminsystem ein Verstärkungs-Lernsignal übermitteln muss, wie es nach der Theorie von Holroyd und Coles (2002) der Fall ist, dann würde das

mesenzephalische Dopaminsystem vermutlich von der Überwachungsinstanz die darin enthaltenen Informationen übermittelt bekommen, wodurch es das Ergebnis mit der erwarteten Konsequenz vergleichen könnte, allerdings nur für die Ebene, über die gerade Informationen zur Verfügung stehen.

Für die Theorien der Lernmechanismen kann also gesagt werden, dass selbst innerhalb einer Aufgabe verschiedene Mechanismen beteiligt sein können, je nach Lernebene, Schwierigkeit und anderen Gegebenheiten der Situation. Selbst beim impliziten Erwerb von Fertigkeiten, wie dem Lösen von Wahlreaktionsaufgaben, können überwachte Lernmechanismen eingreifen, und so die zukünftige Leistung verbessern.

Alternierende Wechselkosten

Mayr und Keele (2000) haben gezeigt, dass sich bei alternierenden Aufgabenwechseln (Aufgabenfolge ABA) längere Reaktionszeiten zeigen als bei nicht alternierenden Aufgabenwechseln (Aufgabenfolge CBA). Ihrer Meinung nach entsteht dieser Effekt der alternierenden Wechselkosten dadurch, dass im zweiten Durchgang der Abfolge das Task-Set des ersten Durchgangs gehemmt wird. Wenn dann im dritten Durchgang in der Abfolge wieder die erste Aufgabe gelöst werden muss, muss diese Hemmung erst überwunden werden. Allerdings zeigt sich dieser Effekt nur unter ganz bestimmten Bedingungen. In einer Studie von Schuch und Koch (2003) beispielsweise haben sich alternierende Wechselkosten nur gezeigt, wenn eine Reaktion ausgewählt werden musste, nicht aber bei einer Aufgabe, auf die nicht oder nur unspezifisch reagiert werden sollte. Arbuthnott und Woodward (2002) haben gezeigt, dass mit räumlichen Hinweisreizen keine alternierenden Wechselkosten ausgelöst wurden, mit verbalen oder symbolischen Hinweisreizen dagegen schon. In der aktuellen Studie konnten in keiner Aufgabe alternierende Wechselkosten beobachtet werden. In den Fehlerraten zeigt sich sogar ein gegenläufiger Effekt. Da wir das Design von Mayr und Keele übernommen haben, ist es schwierig einen Grund dafür zu finden. Wir können lediglich festhalten, dass die aktuelle Studie ein weiterer Beleg dafür ist, dass sich alternierende

Wechselkosten nur unter ganz bestimmten Bedingungen zeigen, die bisher noch nicht vollständig bekannt sind.

Ausblick

In einem zukünftigen Experiment sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass die verschiedenen Aufgaben in der Schwierigkeit ausgeglichen sind. Beispielsweise könnte man den Schwierigkeitsgrad der Farbaufgabe erhöhen durch die Verwendung von Farbtönen, die sich nur ganz leicht unterscheiden (Treisman & Gormican, 1988). Ebenfalls interessant wäre, zu untersuchen, welche Art von Fehlern in welchem Zusammenhang unterlaufen. Begünstigt ein bestimmter Fehler nur dieselbe Art von Fehlern oder erhöht sich das Fehlerrisiko generell? Wichtig wäre beispielsweise zu sehen, ob Fehler tatsächlich häufig dadurch entstehen, dass sich auffällige Reize störend auf schwierigere Aufgaben auswirken. Die aktuelle Studie liefert zu wenige Daten, um dies zu untersuchen. Vermutlich müssten die Aufgabenschwierigkeiten und der Zeitdruck erhöht werden, um höhere Fehlerraten zu erhalten, oder die Untersuchung müsste verlängert werden. Auch könnte das aktuelle Experiment mit amnestischen Patienten durchgeführt werden. Dadurch könnte untersucht werden, ob das implizite Gedächtnis eventuell in der Lage ist, das Lernen so konkreter Eigenschaften wie Reizattribute zu überwachen, obwohl es für die Überwachung der abstrakten Aufgaben-Ebene ungeeignet ist. Die beobachteten Lerneffekte könnten in einer zukünftigen Studie eventuell durch die Implementierung des oben beschriebenen Netzwerkmodells weiter untersucht werden. Mit Hilfe eines solchen Netzwerks könnten die Schwierigkeitsgrade der verschiedenen Aufgaben leichter kontrolliert und deren Effekte systematisch untersucht werden.

LITERATUR

- Allport, D. A., Tipper, S. P., & Chmiel, N. R. J. (1985). Perceptual integration and postcategorical filtering. In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 107-132.
- Allport, A., Styles, E. A., & Hsie, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XIV, conscious and nonconscious information processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 421-452.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, *89*, 369-406.
- Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory: an integrated approach*. New York: Wiley.
- Arbuthnott, K. D., & Woodward, T. S. (2002). The influence of cue-task association and location on switch cost and alternating-switch cost. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*, 18-29.
- Baddeley, A., & Wilson, B. A. (1994). When implicit learning fails: Amnesia and the problem of error elimination. *Neuropsychologia*, *32*, 53-68.
- Baddeley, A. D. (1997). *Human memory: Theory and Practice*. Hove: Psychology Press.
- Botvinick, M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624-652.
- Brooks, D. N., & Baddeley, A. D. (1976). What can amnesic patients learn? *Neuropsychologia*, *14*, 111-122.

- Bryan, W. L., & Harter, N. (1899). Studies of the telegraphic language. The acquisition of a hierarchy of habits. *Psychological Review* 6, 345-37.
- Cahill, L., McGaugh, J. L., & Weinberger, N. M. (2001). The neurobiology of learning and memory: some reminders to remember. *Trends in Neurosciences*, 24(10), 578-581.
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesia: Dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, 210, 207-210.
- Cooper, S. J. (2005). Donald O. Hebb's synapse and learning rule: a history and commentary. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(8), 851-874.
- Corkin, S. (1968). Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal lobe excision. *Neuropsychologia*, 6, 255-265.
- Fagot, C. (1994). *Chronometric investigations of task switching*. Unpublished doctoral dissertation, University of California, San Diego.
- Fitts, P. M. (1964). Perceptual-motor skill learning. In A. W. Melton (Ed.), *Categories of human learning*. New York: Academic Press.
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 145-173.
- Goschke, T. (2000). Intentional reconfiguration and involuntary persistence in task set switching. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109, 679-709.

- Hübner, M., Kluwe, R. H., Luna-Rodriguez, A., & Peters, A. (2004). Response selection difficulty and asymmetrical costs of switching between tasks and stimuli: No evidence for an exogenous component of task-set reconfiguration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*, 1043–1063.
- Kahneman, D., C Treisman, A. M. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention*. New York: Academic Press, 29-61.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492-527.
- Lowe, D. G. (1979). Strategies, context, and the mechanism of response inhibition. *Memory & Cognition*, *7*, 382-289.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 4-26.
- McClelland, J. L., & Thomas, A. (1998). *Dynamic stability and adaptive intervention: Consequences of Hebbian learning?* Unpublished manuscript, Center for The Neural Basis of Cognition, 115 Mellon Institute, Pittsburgh, PA.
- McClelland, J. L., McNaughton, B. L., & O'Reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological Review*, *102*, 419-457.
- McClelland, J. L. (2001). Failures to learn and their remediation: A Hebbian account. In J.L. McClelland and R. S. Siegler (Eds.), *Mechanisms of cognitive development: Behavioral and neural perspectives*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 97-121.

- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22, 1423-1442.
- Meiran, N. (2000). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research*, 63, 234-249.
- Meiran, N., Chorev, Z., & Sapir, A. (2000). Component processes in task switching. *Cognitive Psychology*, 41, 211–253.
- Neill, W. T., & Valdes, L. A. (1992). Persistence of negative priming: Steady state or decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 18, 565-576.
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes*. Oxford: Oxford University Press.
- Poulsen, C., & Segalowitz, N. (1999). *Impact of underlying motivational biases on execution of attention control processes*. Poster presented at the 40th annual meeting of the Psychonomic Society, Los Angeles, CA.
- Rabbitt, P., & Rodgers, B. (1977). What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29, 727-743.
- Rabbitt, P., & Vyas, S. (1981). Processing a display even after you make a response to it: How perceptual errors can be corrected. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 33, 223-239.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.

- Rubinstein, J., Meyer, E. D., & Evans, J. E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 763–797.
- Rumelhart, D. E. (1989). The architecture of mind: A connectionist approach. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press, 133-159.
- Ruthruff, E., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (2001). Switching between simple cognitive tasks: The interaction of top-down and bottom-up factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 1404–1419.
- Scarborough, D. L., Cortese, C., & Scarborough, H. S. (1977). Frequency and repetition effects in lexical memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *3*, 1-17.
- Schacter, D. L. (1985). Priming of old and new knowledge in amnesic patients and normal subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *444*, 41-53.
- Schneider, K. (1912). Über einige klinisch-pathologische Untersuchungsmethoden und ihre Ergebnisse. Zugleich ein Beitrag zur Psychopathologie der Korsakowschen Psychose, *Zeitschrift für Neurologische Psychiatrie*, *8*, 553-616.
- Schuch, S., & Koch, I. (2003). The role of response selection for inhibition of task sets in task shifting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*, 92-105.
- Skinner, B. F. (1968). *The technology of teaching*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Sohn, M.-H., & Anderson, J. R. (2001). Task preparation and task repetition: Two-component model of task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 764-778.
- Steinhauser, M., Hübner, R. (2006). Response-based strengthening in task shifting: Evidence from shift effects produced by errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 517-534.
- Talland, G. A. (1965). *Deranged memory: A psychonomic study of the amnesic syndrome*. New York: Academic Press.
- Thorndike, E.L. (1898). *Animal intelligence*. New York: Macmillan.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 571-590.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Tulving, E. and Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science* 247, 301-306.
- Twitmyer, E. B. (1974). A study of the knee jerk. Reprinted in *Journal of Experimental Psychology*, 103, 1047-1066.
- Warrington, E. K., & Weiskrantz, L. (1968). New method of testing long-term retention with special reference to amnesic patients. *Nature*, 217, 972-974.
- Widrow, G., & Hoff, M. E. (1960). Adaptive switching circuits. In *Institute of Radio Engineers, Western Electronic Show and Convention, Convention Record, Part 4*, 96-104.

- Waszak, F., Hommel, B., & Allport A. (2003). Task switching and long-term priming: Role of episodic stimulus-task bindings in task-shift costs. *Cognitive Psychology*, 46, 361-413.
- Winer, B. J., Brown, D. R., & Michels, K. M. (1991). *Statistical principles in experimental design* (3rd ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of "switch costs". *Psychological Research*, 63, 212-233.
- Yeung, N., Cohen, J. D., & Botvinick, M. M. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, 111, 939-959.

ANHANG**Inhalt:**

1. Instruktion für die Versuchspersonen für die erste Hälfte der ersten Sitzung
(ohne Deadline)
2. Instruktion für die Versuchspersonen für die zweite Hälfte der ersten Sitzung
3. Instruktion zur Erinnerung für die zweite und dritte Sitzung

Liebe Versuchsperson!

Im folgenden Experiment wirst Du bei jedem Durchgang vier Rechtecke sehen. Eines der Rechtecke wird immer neutral sein, die anderen drei unterscheiden sich auf jeweils einer Dimension vom den anderen:

- Ein Rechteck hat eine andere Farbe als die übrigen.
- Ein Rechteck hat eine andere Orientierung als die übrigen.
- Ein Rechteck hat eine andere Größe als die übrigen.

Bei jedem Durchgang wird zuerst die Dimension ("Farbe", "Größe" oder "Richtung") eingeblendet, auf die Du achten sollst. Danach erscheinen die Rechtecke und Du sollst auf das reagieren, das auf der genannten Dimension von den anderen abweicht. Dazu drückst Du die Taste, die der Position des abweichenden Rechtecks entspricht ("A" für "oben links", "Y" für "unten links", "ä" für "oben rechts", "-" für "unten rechts"). Lege Deine Finger schon vorher auf diesen Tasten bereit (linker Mittelfinger auf "A", linker Zeigefinger auf "Y", rechter Mittelfinger auf "ä", rechter Zeigefinger auf "-").

Die Antwort soll so schnell wie möglich und trotzdem mit so wenig Fehlern wie möglich erfolgen.

Beachte bitte unbedingt: Nach Deiner Antwort wird Dir nicht mitgeteilt, ob sie korrekt oder fehlerhaft war. Versuche trotzdem, so **genau und so schnell** wie möglich zu antworten. Nach jedem Block wird Dir die Versuchsleiterin mitteilen, wie viele Fehler Du gemacht hast.

Viel Spaß!

Liebe Versuchsperson!

Diese erste Phase des Experiments diene vor allem der Übung der Aufgaben und des Ablaufs.

Die weiteren Blöcke unterscheiden sich von den bisherigen in einem zusätzlichen Punkt: Du wirst von jetzt an nach jedem Durchgang ein *akustisches Signal* hören. Versuche bitte, Deine Antwort **vor** diesem Signal abzugeben.

Du wirst merken, dass dies nicht einfach ist. Möglicherweise wirst Du einige Fehler machen. Dies ist kein Problem, solange die Anzahl der Fehler nicht zu hoch wird. **Vorrang hat in jedem Fall die Geschwindigkeit Deiner Antwort!!!**

Erfolgt Deine Antwort öfters zu spät, dann wird am Ende des Durchgangs das Wort "schneller" eingeblendet. Versuche dann, Deine Geschwindigkeit bei der Beantwortung der nächsten Durchgänge zu erhöhen. In den Blöcken der heutigen Sitzung wird Dir diese Rückmeldung in jedem langsamen Durchgang gegeben.

Viel Spaß!!!

Liebe Versuchsperson!

Nochmals zur Erinnerung:

Du wirst in jedem Durchgang vier Balken sehen. Du sollst immer auf den Balken reagieren, der auf der vorher genannten Dimension von den anderen abweicht.

Nach jedem Durchgang wirst Du ein akustisches Signal hören. Versuche bitte, Deine Antwort vor diesem Signal abzugeben. Du wirst merken, dass dies nicht einfach ist. Möglicherweise wirst Du einige Fehler machen. Dies ist kein Problem, solange die Anzahl der Fehler nicht zu hoch wird. **Vorrang hat in jedem Fall die Geschwindigkeit Deiner Antwort!!!** Erfolgt Deine Antwort öfters zu spät, dann wird am Ende des Durchgangs das Wort "schneller" eingeblendet. Versuche dann, Deine Geschwindigkeit bei der Beantwortung der nächsten Durchgänge zu erhöhen. Die Rückmeldung erfolgt immer, wenn Du mehrere Durchgänge hintereinander zu langsam warst.

Viel Spaß!!!